

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Tunelové řešení modernizované tratě ŽSR v okolí obce Svrčinovec
A Tunnel Design of The ZSR Railway Track Update in Locality of
Village Svrčinovec**

Student:

Jakub Kohoutek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Kohoutek**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **3607T035 Geotechnika**
Téma: **Tunelové řešení modernizované tratě ŽSR v okolí obce Svrčinovec**
A Tunnel Design of The ZSR Railway Track Update in Locality of Village Svrčinovec

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Úvod

Inženýrsko geologické poměry lokality

Geotechnická analýza variant vedení trasy povrchem (svahem) a tunelem. Okolnosti pro a proti. Dosavadní zkušenosti s oběma variantami.

Návrh trasy a metody výstavby tunelové varianty včetně řešení únikové štoly.

Prognóza očekávaných geotechnických podmínek výstavby tunelu a zařazení podmínek do vstrojovacích tříd.

Návrh a statické řešení tunelového ostění pro podmínky vstrojovací třídy s nejdelší kumulativní délkou.

Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Klepsatel, F. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Bratislava : JAGA, 2003. ISBN 80-889-0543-5.

Aldorf, J. *Mechanika podzemních konstrukcí*. Ostrava : VŠB TU Ostrava, 1999. ISBN 80-7078-695-7.

Thompson, J.F.K. *A Practical Guide to the New Austrian Tunnelling Method*. London : Thomas Telford Ltd, 1996. ISBN 978-0727720542.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.**

Datum zadání: 28.02.2017

Datum odevzdání: 30.11.2017




doc. RNDr. Eva Hrubčesová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave

.....

podpis študenta

Prehlasujem, že:

- bol som zoznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, hlavne § 35 užitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školných predstavení a užití diela školného a § 60 - školné dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola banská Technická univerzita Ostrava (ďalej iba VŠB-TUO) má právo neziskovo ku svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu užiť (§ 35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavrú licenčnú zmluvu s oprávnením užiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že užiť svoje dielo - diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jejmu využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložene (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnenia ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave

.....
podpis študenta

Anotácia

Cieľom diplomovej práce je návrh tunelového riešenia pre modernizáciu trasy pri obci Svrčinovec. Dôvodom modernizácie je zvýšenie rýchlosti na 160km/h. V úvode sa práca zaoberá geomorfológiou, geológiou a hydrogeológiou záujmového územia. V ďalších krokoch je rozoberaná technológia razenia, popis programu GEO5 MKP, teória kotvenia do horniny a úniková štóla. Veľa priestoru diplomovej časti sa zaoberá modelovaním tunelového tubusu v programe GEO5. Nasleduje vyhodnotenie stability a deformácie podložia.

Kľúčové slová

Svrčinovec, tunel, ražba, úniková štóla

Abstract

The aim of the thesis is to propose a tunnel solution for the modernization of the route at the village of Svrčinovec. The reason for the upgrade is the speed up to 160km / h. At the beginning the thesis deals with geomorphology, geology and hydrogeology of the area of interest. In the next steps, excavation technology, description of the GEO5 MKP program, rock anchor theory, and escape stool are discussed. A lot of the space of the diploma part deals with the modeling of the tunnel tube in the GEO5 program. Substrate stability and deformation evaluation is followed.

Keywords

Svrčinovec, tunnel, excavation, escape gallery

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Geomorfológia, geológia, hydrológia	2
2.1. Geomorfológia Slovenska	2
2.2. Geomorfológia Žilinského kraja.....	3
2.3. Geomorfológia záujmového územia.....	4
2.4. Svahová nestabilita	5
2.5. Geológia Žilinského kraja – okres Čadca.....	6
2.6. Geologická mapa záujmového územia	7
2.7. Hydrogeológia	11
3. Geotechnická analýza variant vedenia trasy povrchom a tunelom.	12
3.1. Geotechnická analýza	12
3.2. Okolnosti pre a proti	13
4. Metódy výstavby tunelovej varianty vrátane riešenia únikovej štóly	14
4.1. NRTM.....	14
4.2. Popis NRTM.....	15
4.3. Geometria Primárneho ostenia	17
4.4. Svorníky.....	18
4.4.1. Rozdelenie svorníkov	19
4.5. Oblúčková výstuž	20
4.6. Striekaný betón	20
4.7. Riešenie únikovej štólne	21
4.7.1. Bezpečnostné stavebné prvky podľa normy STN 737508 zahŕňajú:	21
4.7.2. Bezpečnostné výklenky	21
4.7.3. Núdzové východy.....	22

4.7.4.	Objekty chránených únikových ciest	22
4.7.5.	Únikové štôlne.....	22
5.	Vystrojovacie triedy	24
5.1.	Pracovný postup a spôsob zaistenia vyrúbu.	24
5.1.1.	Vystrojovacia trieda 2:	24
5.1.2.	Vystrojovacia trieda 3:	25
5.1.3.	Vystrojovacia trieda 4:	25
5.1.4.	Vystrojovacia trieda 5:	26
6.	Návrh a statické riešenie tunelového ostenia	27
6.1.	Primárne ostenie	27
6.2.	Sekundárne ostenie	27
6.3.	Numerické modelovanie tunelu.....	29
6.3.1.	Popis programu GEO5	29
6.3.2.	Tunely GEO5	30
6.3.3.	Návrh zaťaženia, β – metóda.....	30
6.4.	Vstupné údaje	30
6.4.1.	Rozhranie úlohy	31
6.4.2.	Modelovanie.....	31
6.4.3.	Fázy budovania a výsledky modelu	33
6.4.4.	Vyhodnotenie výsledkov	40
6.5.	Posúdenie ostenia v programe FIN EC – Betón	41
6.5.1.	Posúdenie ostenia v rezoch.....	41
6.6.	Posúdenie viacerých modelov v programe GEO 5 - MKP.....	43
7.	Záver.....	46

Použité značenia

γ	-	objemová tiaž prirodzene vlhkej zeminy [kN/m ³]
c	-	súdržnosť [kPa]
ϕ	-	uhol vnútorného trenia zeminy [°]
E	-	modul pružnosti [MPa]
ν	-	poissonovo číslo [-]
K_s	-	šmyková tuhosť [kN/m ³]
K_n	-	normálová tuhosť [kN/m ³]
$\delta c / \delta \mu$	-	redukcia zemín [-]
d_z	-	deformácia v smere z
d_x	-	deformácia v smere x
G	-	modul pružnosti v šmyku [MPa]

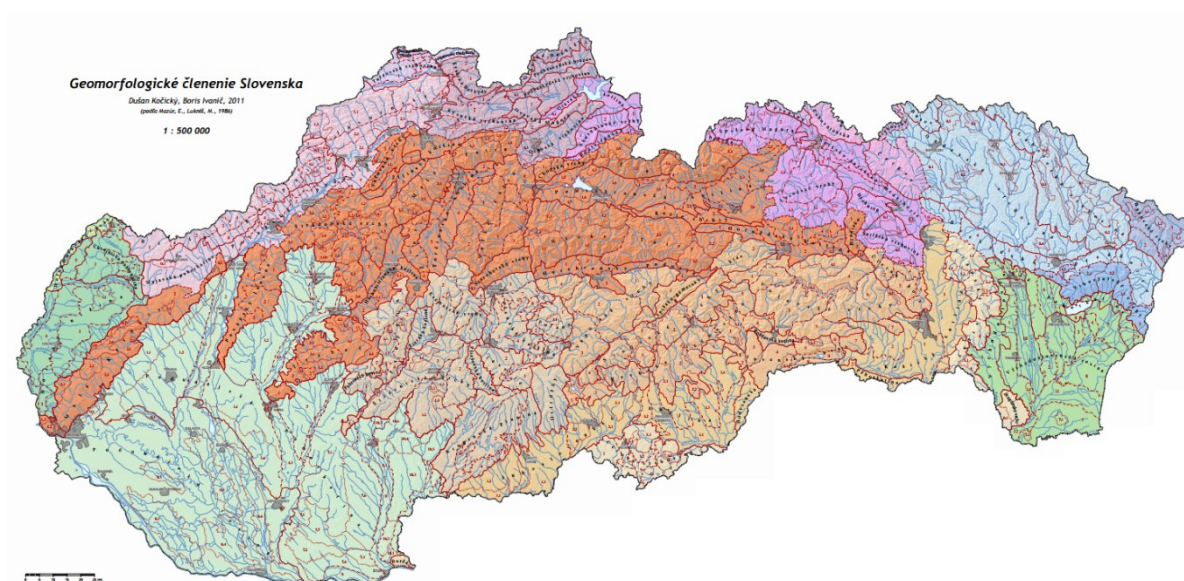
1. Úvod

Železničná sieť Slovenskej republiky tvorí dôležitý dopravný uzol v Európe hlavne pre svoju geografickú polohu. Spájajú sa tu medzinárodné železničné trasy, ktoré spojujú juh so severom a taktiež západ s východom. Zásadným spôsobom preto ovplyvňuje železničnú komunikáciu v strednej Európe, kde sú požiadavky na železničné dráhy na stále vyššej úrovni. Z tohto dôvodu je potreba modernizácie slovenských dráh, ktoré nespĺňajú požiadavky na rýchlosť. Program modernizácie železničných dráh na Slovensku prináša niekoľko zmien a to hlavne spevnenie podložia prípadne zmena trasy do tunela. Jeden z projektov modernizácie trate sa nachádza v okrese Čadca v Žilinskom kraji, v okolí obci Svrčinovec. Navrhovaná trasa sa odkloní a presunie do tunela, ktorý bude razený vo Flyšovom pásme najviac používanou Novou Rakúskou tunelovacíou metódou. Princípom NRTM je využitie vlastnej nosnej schopnosti horninového masívu realizované spolupôsobením s poddajným primárnym ostením z vystuženého striekaného betónu. Po ustálení deformácií a vyrovnaní vzájomného silového pôsobenia horninového masívu a primárneho ostenia sa zabuduje sekundárne ostenie, ktoré zaisťuje stabilitu tunela po zbytok jeho životnosti. Cieľom tejto práce je geotechnická analýza variant vedenia trasy povrchom (svahom) a tunelom, okolnosti pre a proti, návrh trasy a metóda výstavby tunelovej varianty v rámci riešenia únikovej štóly, prognóza očakávaných geotechnických podmienok výstavby tunelu a zaradenie podmienok do vystrojovacích tried, návrh a statické riešenie tunelového ostenia pre podmienky vystrojovacej triedy s najdlhšou kumulatívnou dĺžkou. Hlavnou úlohou je vytvorenie modelu v programe GEO 5 MKP, ktorý popisuje správanie horninového masívu a primárneho ostenia pri ražbe tunela. Následne pomocou modelu určiť vnútorné sily na primárnom ostení v jednotlivých fázach výstavby tunelu na základe vypočítaných výsledkov previesť dimenzovanie primárneho ostenia z vystuženého striekaného betónu. Pre úplné vyhodnotenie posúdiť primárne ostenie v programe FIN EC - BETÓN.

2. Geomorfológia, geológia, hydrológia

2.1. Geomorfológia Slovenska

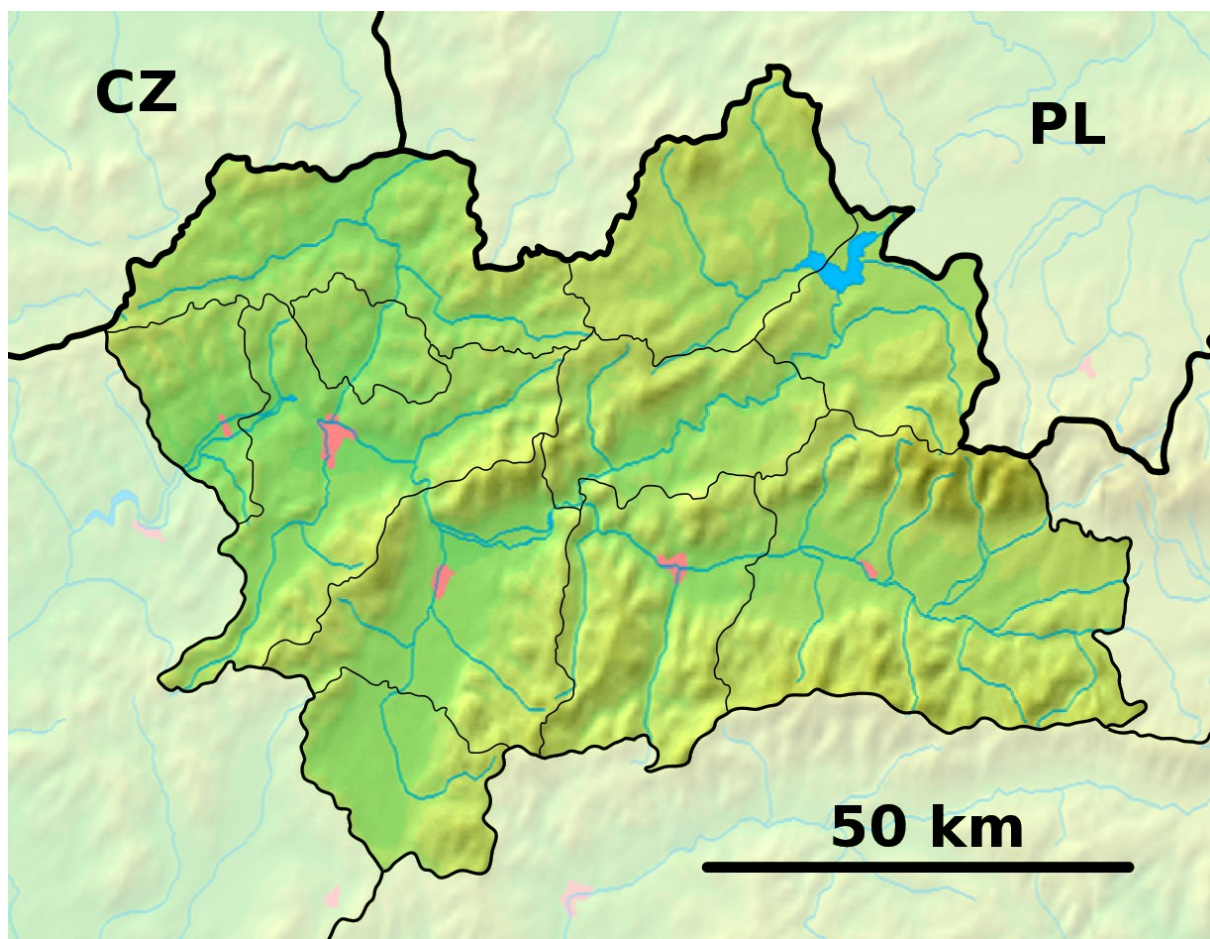
Celá časť Slovenskej republiky patrí do Alpsko-himalájskeho systému. Z hľadiska provincií sa ďalej Alpsko-himalájsky systém rozdeľuje na Karpaty a Panónsku panvu. Karpaty sa ďalej rozdeľujú na Západné a Východné Karpaty, Západné Karpaty na Vnútorné Západné Karpaty a Vonkajšie Západné Karpaty. Východné Karpaty sa rozdeľujú na Vnútorné Východné Karpaty a Vonkajšie Východné Karpaty. Vnútorné Západné Karpaty sa ďalej rozdeľujú na Slovenské rudohorie, Fatransko-tatranskú oblasť, Slovenské stredohorie, Lučensko-košická zníženina a Matransko-slanská oblasť. Vonkajšie Západné Karpaty sa rozdeľujú na Slovensko-moravské Karpaty, Západné Beskydy, Stredné Beskydy, Východné Beskydy, Podhoľno-magurská oblasť. [1]



Obrázok 1 : Vyššie geomorfologické jednotky v SR [1]

2.2. Geomorfológia Žilinského kraja

Povrch Žilinského kraja je veľmi členitý, striedajú sa tu viaceré pohoria a kotliny, no nenachádzajú sa tu žiadne nížiny. Celé územie spadá do Západných Karpát. Na území Žilinského kraja sa Západne Karpaty skladajú zo Stredných Beskýd, Západných Beskýd, Slovensko-Moravských Karpát a Fatransko-tatranskej oblasti. Najvyššie pohoria sú na východnej časti kraja. Rieka Váh rozdeľuje Žilinský kraj na severnú a južnú časť. Severnú časť tvoria Tatry, Skorušinské vrchy, Oravské Beskydy, Oravská Magura, Oravská vrchovina, Chočské vrchy, Krivánska Fatra, Kysucké Beskydy, Kysucká vrchovina a Javorníky. Južnú časť tvoria Nízke Tatry, Veľká Fatra, Lúčanská Fatra a Strážovské vrchy. [1]



Obrázok 2 : Pohoria a kotliny v Žilinskom kraji [2]

2.3. Geomorfológia záujmového územia

Záujmové územie sa nachádza západne od obce Svrčinovec, ktorá leží v okrese Čadca, Žilinský kraj. Obec leží v doline rieky Čierňanky, ktorá oddeľuje Jablunkovské medzihronie na severozápade a Kysucké Beskydy na juhovýchode. Tieto pohoria patria do flyšového pásma a vrchy tvorené pieskovecami a ílovcami majú obmedzenú priepustnosť vody, preto sa tu po výdatných dažďoch vyskytujú zosuvy. [2]

Obec Svrčinovec sa nachádza od 430 do 637 m n. m. Najvyšším bodom je osada Pod Bučkami. Obec susedí na východe s obcou Čierne, na juhu a západe s mestom Čadca a na sever s českou obcou Mosty u Jablunkova.

Trasa železnice sa z najväčšej časti nachádza v oblasti Západných Beskýd, pričom sú zastúpené celky Jablunkovské medzihorie a Turzovská vrchovina.

Jablunkovské medzihorie zasahuje do skúmaného územia v úseku trate od Čadce po štátnu hranicu SR/ČR. Územie je charakterizované eróznou–denudačným typom reliéfu, ovplyvneným najmä hĺbkovou a laterálnou eróziou jednotlivých tokov. V spolupôsobení s geologickou stavbou (flyšový charakter podložia) a klimatickými vplyvmi je územie extrémne citlivé na vznik svahových deformácií. V dôsledku toho je na mnohých miestach zotretá pôvodná morfológia územia. Svahy budované pieskovcovými vrstvami sú postihnuté najmä blokovými posunmi, ktoré sú miestami skoncentrované v medzizosuvných úzkych chrbtoch.[3]

Turzovská vrchovina zasahuje do skúmaného územia v úseku trate od severného portálu tunela Kýčerka, cez oblasť zastávky Čadca a stanice Čadca až po sútok Čierňanky s Čadečkou. Vzhľadom na dominantné zastúpenie ílovcového vývoja flyšu v tejto oblasti vznikli eróznou–denudačnými procesmi zníženiny – brázdy. Pre ne je typický hladko modelovaný reliéf. Výrazným reliéfovým prvkom na území bola okrem periglaciálnej modelácie najmä erózna činnosť Kysuce, Čierňanky a jej prítokov, ktoré svojou hĺbkovou a spätnou eróziou v spolupôsobení klimatických faktorov oslabovali najmä päty svahov priľahlých k aluviálnym nivám uvedených tokov. V dôsledku toho je územie bohaté na svahové deformácie rozličného charakteru, rozsahu i stupňa aktivity.[3]

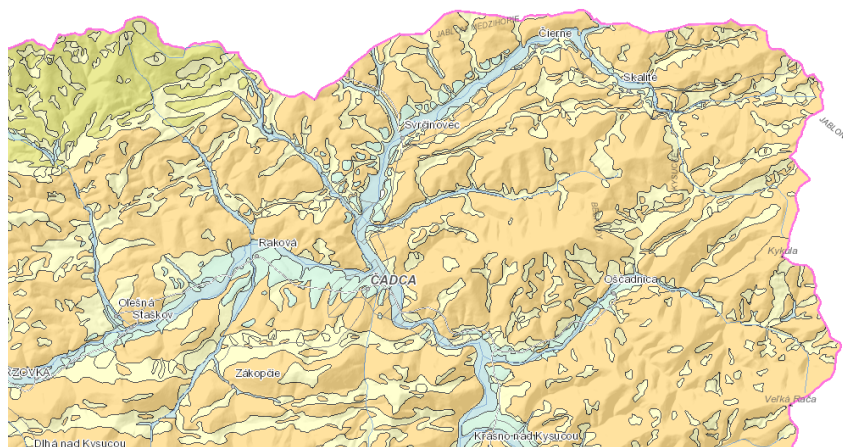
2.4. Svahová nestabilita

Svahová nestabilita tiež označovaná ako svahové pohyby. Jedná sa o rýchle pohyby zosuvy pôdy alebo rútenie skál, ale taktiež pomalé plazivé pohyby. Svahové nestability sú založené na nasýtení zeminy svahu vodou. Táto situácia nastáva po veľkých dažďoch a pohyb svahu nastáva vtedy, keď aktívne sily, ktoré pôsobia v rovnakej dráhe ako gravitácia, prekonajú pasívne zložky odporu. [4]

Svahové pohyby sú v hodnotenom území veľmi rozšírené a sú viazané na podložie budované flyšom resp. deluviálnymi sedimentami. Na týchto územiach môže dôjsť alebo dochádza ku vzniku plošných či prúdových zosuvov. Mnohé svahové deformácie sú stále aktívne resp. opätovne aktivizované počas zrážkových anomálií alebo pri pokračujúcej bočnej a hĺbkovej erózii vodných tokov. Prakticky všetky päty svahov v skúmanom území sú postihnuté svahovými pohybmi alebo ohrozené ich vznikom. Taktiež boli zistené blokové deformácie na strmších svahoch budovaných skalnými i poloskalnými horninami. Svahové pohyby charakteru skalného zrútenia či opadávanie úlomkov boli dokumentované v oblastiach s výraznými skalnými útvarmi vystupujúcimi na povrch územia, v skalných zárezoch líniových stavieb a podobne. [3]

2.5. Geológia Žilinského kraja – okres Čadca

Územie patrí do flyšového pásma Vonkajších Karpát. Vývoj flyšového pásma sa začal už v mladších druhohorách. Flyšové pásmo sa rozprestiera niekoľko sto až tisíc metrov. Sú to mocné súvrstvia prevažne paleogénnych hornín, v ktorých sa pravidelne striedajú vrstvy mäkkších ílovcov a tvrdších pieskovcov. Podľa geologického vývoja patria flyšové horniny na území Čadce k dvom základným tektonickým jednotkám, sliezskej a amgurskej. Horniny sliezskej jednotky budujú Moravsko – sliezske Beskydy a severnú časť Kornianskej brázdy. V severnej časti sem zasahujú istebianske vrstvy Moravsko – sliezske Beskyd. Tieto horniny tvoria 1000 1200 metrov mocné ílovcovo – pieskovcové súvrstvia, v ktorých sú ílovcové a pieskovcové vrstvy často združené do niekoľkých desiatok až stoviek metrov mocných polôh. Zo sliezskej jednotky tu na severe zasahujú čieskovičské pieskovce a podmenilitové vrstvy. Prevažnú časť územia tvoria horniny magurskej tektonickej jednotky, sú to paleogénne horniny tzv. račianskeho vývoja, z ktorých sa tu vyskytujú solaňské, belovežské a zlínske vrstvy. Solaňské vrstvy sú väčšinou pieskovcové. Pieskovce sú stredne až hrubozrnné modrosivej a zelenej farby. V belovežských vrstvách sú ílovce a pieskovce približne rovnako zastúpené. Ílovcové vrstvy sú mocné niekoľko decimetrov až metrov a majú červenú, zelenú, čiernu alebo sivú farbu. Pieskovce sa vyskytujú vo vrstvách 1 – 100 centimetrov, prevažne sú jemnozrnné a takisto majú rôznu farbu. Najmladším súvrstviem račianskej jednotky sú zlínske farby, ktoré sú na území najrozšírenejšie. Prevládajú ílovce mocné od niekoľko centimetrov až do 10 metrov. Majú sivú, hnedosivú a hnedú farbu. Okrem flyšových hornín sa tu vyskytujú ešte riečne uloženiny, ktoré sú kvartérneho veku. [3]



Obrázok 3: Geológia v okolí Čadce [3]

2.6. Geologická mapa záujmového územia

V zmysle **regionálneho geologického členenia** je širšie územie v okolí navrhovaných variantov železničnej trate budované horninami geotektonickej jednotky Vonkajšie Západné Karpaty. Jednotlivé navrhované trasy projektovanej železnice zasahujú rozličnou mierou do nižšie opísaných geologických celkov, budujúcich územie. Všetky horninové komplexy sú intenzívne tektonicky porušené a prestúpené zlomovými poruchami, príkrovovými líniami, sú zvrásnené, s premenlivým sklonom uloženia vrstiev. Na kontakte tektonických jednotiek a v zónach tektonického porušenia sú horniny uložené s veľmi strmým úklonom. Celkove prevládajú skalné a poloskalné flyšoidné horniny račianskej jednotky Magurského príkrovu flyšového pásma s rozličným zastúpením ílovcov, siltovcov, pieskovcov a zlepencov, paleogénneho a kriedového veku. V širšom okolí trasy sa vyskytujú horniny nasledujúcich súvrství: [3]

Zlínske súvrstvie s.l. predstavuje v regióne Kysúc najrozšírenejší litologický komplex, ktorý možno rozčleniť nasledovne:

- **zlínske súvrstvie** je budované vápnitými ílovcami bystrického typu. Tieto sú prevažne hnedozelené, s čriepkovitým rozpadom a lastúrnatým lomom. Hrúbka vrstiev ílovcov dosahuje 20 cm až 4 m. Okrem nich sú tu zastúpené i jemno až strednozrnné sivohnedé až sivomodré drobové pieskovce so zvýšeným podielom muskovitu, so závalkami ílovcov a zuhoľnatenou rastlinnou sečkou, pričom hrúbka vrstiev je 10 cm až 5 m, ďalej kremenné pieskovce s glaukonitom s gradačným zvrstvením a hrúbkou vrstiev 10 cm až 1,5 m. Menej sa vyskytujú vrstvy laminovaných siltovcov. [3]

- **ošadnické vrstvy** predstavujú faciú s tenšími vrstvami jemno až strednozrnných pieskovcov a hnedosivých až zelených ílovcov. Pieskovce sú pomerne pestré, prevažne kremenné a arkózové. Ojedinele sa vyskytujú hrubšie variety zelených pieskovcov až zlepencov pestrého petrografického zloženia. Ílovce sú prevažne nevápnité, dosahujú hrúbku 1 – 15 cm, menej sa vyskytujú hnedosivé siltovité ílovce s hrúbkou vrstiev 25 – 320 cm. Pomer pieskovcov k ílovcom varíruje v rozsahu 0,5 – 1,2. [3]

- **pasierbiecke pieskovce** predstavujú pieskovce s glaukonitom vo výraznej prevahe nad zelenými ílovcami bystrického typu. Hrúbka vrstiev dosahuje 0,15 – 2 m, pričom pieskovce sú stredno až hrubozrnné, arkózové a kremenné. Pomer pieskovcov k ílovcom je 1,2 – 8. Hrúbka komplexu dosahuje 150 – 350 m. [3]

- **Vychylovské súvrstvie** predstavuje striedanie belovežskej a bystrickej litofácie, pričom smerom do nadložia postupne narastá podiel ílovcov bystrického typu. Charakteristickými horninami budujúcimi komplex sú zelenosivé strednozrnné drobové pieskovce hrúbky 0,2 – 1 m, sivé až modrosivé drobnozrnné vápnité pieskovce s medzivrstvami hrubolaminovaných, hnedozelených až hnedých vápnitých ílovcov hrúbky 0,02 – 10 cm. Celková hrúbka súvrstvia dosahuje 45 – 250 m. [3]
- **Belovežské súvrstvie** predstavuje tenko až strednovrstevný flyš. Budovaný je prevažne jemnozrnnými pieskovecami a sivozelenými až hnedými ílovcami, pričom pomer pieskovcov k ílovcom dosahuje 0,7 až 1,5. [3]
- **dedovské vrstvy** sú podobné ostatným členom belovežského súvrstvia, vyznačujú sa však vyššou faciálnou pestrosťou. Budované sú stredne až hrubozrnnými pieskovecami, sivými a okrovými ílovcami a slieňmi, vyskytujú sa i glaukonitické pieskovce. [3]
- **vrchné belovežské vrstvy** sú budované tenkovrstevným rytmickým flyšom šikmo zvrstvených jemnozrnných pieskovcov s hojným muskovitom a organickou sečkou na plochách laminácie, ktorý plynule prechádza do siltovitého ílovca tmavozelenej resp. modrosivej farby. Vrstvy pieskovca sú hrubé cca 1 – 8 cm, ílovcové vrstvy asi 1 – 5 cm. Vzájomný pomer pieskovca a ílovca je 0,3 – 1,2. Vo vyššej časti súvrstvia sa vyskytujú i sivé paralelne laminované jemnozrnné pieskovce hrúbky 30 – 60 cm. [3]
- **spodné belovežské vrstvy** sú označované aj ako „pestré vrstvy“ predstavujú jednu z typických facií magurského flyšu. V komplexe sa vyskytujú charakteristické červenohnedé, bordové a sivozelené ílovce. Ílovce majú tenkodoštičkovitý až čriepkovitý rozpad a sú nevápnité. Hrúbka vrstiev dosahuje 4 – 60 cm, ale miestami dokonca až 6 m. Pestré ílovce sú striedané tenkými vrstvami svetlozelených drobno až strednozrnných kemitých pieskovcov hrúbky 1 – 18 cm. Celková hrúbka súvrstvia dosahuje 250 – 350 m. [3]
- **deluviálny komplex** – tento je plošne najrozšírenejší. Predstavuje zvyčajne svahové sute rozličného zloženia a obsahu úlomkov. Obsah, veľkosť a vytriedenosť úlomkov a zastúpenie jednotlivých frakcií je závislé najmä na sklone svahov a dĺžke transportu. Na strmých svahoch a pod skalnými stenami sa vyskytujú prevažne kamenité a balvanité sute až sute hlinito a ílovito–kamenité. Na miernejších svahoch sa vyskytujú prevažne hlinité a ílovité deluviálne sedimenty. Typickým javom v tejto oblasti sú zosuvné delúviá rozličného charakteru – od prúdových a plošných zosuvov po blokové deformácie. Charakteristické je i nasunutie deluviálnych sedimentov v pätách svahov na fluviálne riečne sedimenty výplne dna údolí. [3]
- **fluviálny komplex** – predstavuje prevažne štrky korytovej fácie väčších vodných tokov a horských tokov. Ide prevažne o dobre vytriedené piesčité štrky resp. štrky s rôznym podielom

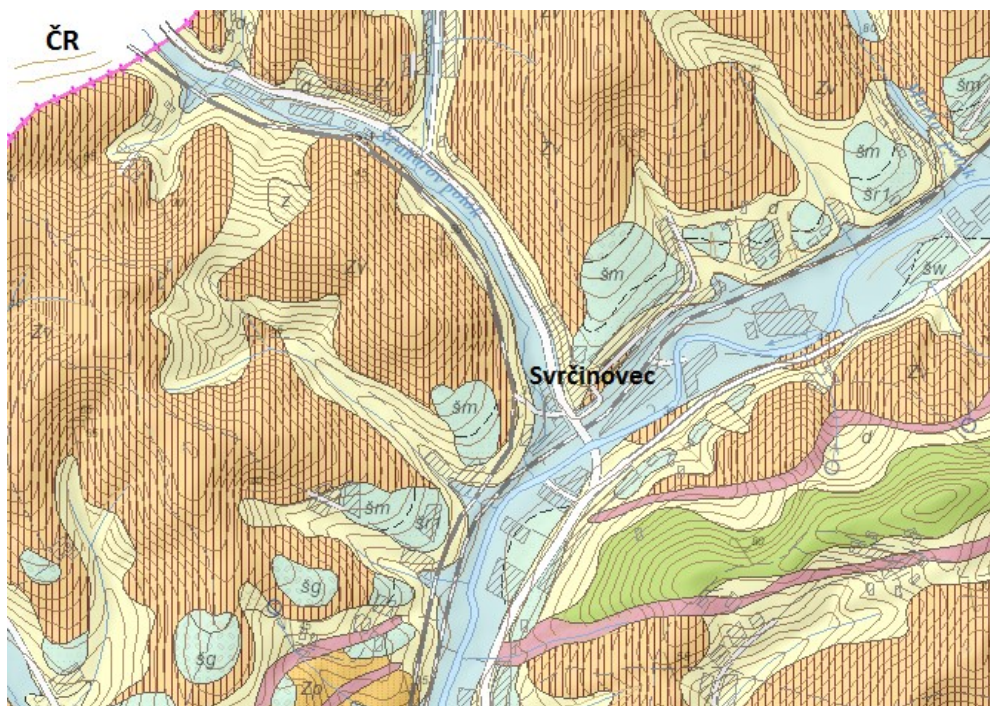
jemnozrnnnej zložky. Hrúbka akumulácie štrkov v údolí Kysuce dosahuje 4 – 6 m, v povodiach jej prítokov 0 – 2 m, maximálne 4 m. V štrkoch prevládajú najmä pieskovcové valúny. V oblasti údolných nív sú štrkové komplexy prekryté holocénnymi náplavovými sedimentami charakteru pieskov a ílov. Charakteristickým javom je výskyt sedimentov mŕtvych ramien s vysokým podielom organickej zložky. [3]

- **fluviálny terasový komplex** – terasové sedimenty charakteru štrkov sa zachovali na svahoch nad údolnou nivou väčších vodných tokov v niekoľkých stupňoch. Ich plošný rozsah je výrazne redukovaný eróziou, hrúbka štrkových akumulácií však dosahuje 3 – 28 m. Prevažne ide o štrky piesčité až štrky zahlinené, pričom staršie najvyššie terasy sú silne zvetrané, materiál štrkov je rozpadavý. [3]

- **proluviálny komplex** – predstavuje akumuláciu periglaciálnych i holocénnych sedimentov náplavových kužeľov. Plošný rozsah je nevýrazný. Prevažne ide o málo vytriedené a chaoticky uložené štrkovité, piesčité a hlinité sedimenty. Kužele sú bočne terasované. Hrúbka akumulácie dosahuje 4 – 5 m, maximálne 18 m. Povrch kužeľov pokrýva 2 – 3 m hrubá vrstva deluviálno–fluviálnych splachových hĺn s úlomkami. Tzv. výnosové kužele sú drobné akumulácie pri vyústeniach bočných kratších a strmších dolín do dolín hlavných vodných tokov. Často ide o suché doliny. Hrúbka takýchto akumulácií dosahuje 3 – 7 m, sú prevažne strmé, tvorené nevytriedeným a chaoticky uloženým deluviálnym materiálom s krátkym transportom a výskytom organických zemín. [3]

- **organogénne sedimenty** – vzhľadom na striedanie priepustných a nepriepustných polôh hornín a zemín na skúmanom území, vznikli vhodné podmienky na tvorbu rašelinísk. Tieto sú však svojim rozsahom a hrúbkou prevažne nevýrazné. Tvorené sú rašelinami a organickými bahňami v bezodtokových depresiách resp. v údoliach vodných tokov. [3]

- **antropogénne sedimenty** – prevažne stavebné navážky rozličného charakteru, najmä násypy ciest, diaľnic a železníc, zasypy terénnych depresií, protipovodňové hrádze a podobne. Patria sem i riadené a neriadené skládky komunálneho odpadu. [3]



Obrázok 4 : Geologická mapa Svrčinovec a okolie [3]

KVARTÉR

Holocén vcelku

fh; fluviálne sedimenty: litofaciálne nečlenené nivné hliny, alebo piesčité až štrkovité hliny dolinných nív a nív horských potokov

Mladší pleistocén

šw; fluviálne sedimenty: štrky, piesčité štrky a piesky dnovej akumulácie v nízkych terasách

Stredný pleistocén (staršia časť)

šm; fluviálne sedimenty: štrky, piesčité štrky a reziduálne štrky nerozlíšených akumulácií mladších terás

Pleistocén / holocén

d; deluviálne sedimenty voelku: litofaciálne nerozlíšené svahoviny a sutiny

z; zosuvy

Stredný pleistocén (mladšia časť)

šr1; fluviálne sedimenty: piesčité štrky a štrky vyšších stredných terás

Starší pleistocén

šg; fluviálne sedimenty: štrky a reziduálne štrky nerozlíšených akumulácií 3. a 2. vysokej terasy

Mladší pleistocén - holocén

dp; deluviálno-proluviálne sedimenty: hlinité, až hlinito-kamenité dejekčné kužele, lokálne s obsahom štrkov a pieskov

FLYŠOVÉ PÁSMO

Belovežské súvrstvie

BeR; staršie resp. "pestré" belovežské vrstvy: červené a zelené ílovce s laminami jemnozrnných pieskovcov

Zlínske súvrstvie

Zv; vsetínske vrstvy: bystrické ílovce, pieskovce s glaukonitom, arkózové pieskovce a zlepenec (flyš)

Solánske súvrstvie

rbSo; ráztocké vrstvy: sivé kremenné a drobové pieskovce, miestami s biotitom, zelené a sivé ílovce (pieskovcová fácia)

Tabuľka 1 : Legenda geologickej mapy Svojkov a okolie [1]

2.7. Hydrogeológia

Podzemné vody v hodnotenom území z hydrogeologického hľadiska možno priradiť k hydrogeologickým celkom:

- podzemné vody paleogénu
- podzemné vody kvartérnych komplexov.

Podľa regionálneho hydrogeologického členenia hodnotené územie patrí do hydrogeologického rajónu paleogén povodia Kysuce, ktorý je rozčlenený na čiastkový rajón kvartéru a čiastkový rajón paleogénu. Podľa vymedzených útvarov podzemných vôd SR v zmysle rámcovej smernice o vodách EÚ(2000/60/ES) patrí územie do útvaru Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Váhu a jeho prítokov S. časti oblasti povodia Váh a prevažná časť územia patrí do útvaru Puklinové podzemné vody Z časti flyšového pásma a Podtatranskej skupiny oblasti povodia Váh. Dominantné zastúpenie kolektora v útvare puklinových podzemných vôd tvorí striedanie pieskovcov a ílovcov (flyš), slieky, slieňovce, pieskovce, bridlice a zlepenice. Dominantné zastúpenie kolektora v útvare medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Váhu tvoria aluviálne a terasové štrky, piesčité štrky, piesky a prolúviálne sedimenty. Hydrogeologické pomery v oblasti sú odrazom litologickej a geologickej stavby podloží paleogénnych a pokryvných kvartérnych útvarov. V území sa rozlišujú dva typy základných hydrogeologických štruktúrnych jednotiek: [3]

Hydrogeologické masívy flyšu, tvorené komplexami spevnených hornín bez významnejších hydrogeologických kolektorov vrstvomého typu. Hlavným hydrogeologickým kolektorom je pripovrchová zóna, zahrňujúca pásmo podpovrchového rozvoľnenia puklín a zónu zvetrania. Obeh podzemnej vody je plytký a prakticky viazaný, len na pripovrchovú zónu. Hlbší obeh podzemnej vody je obmedzený len na tektonicky porušené otvorené zóny. [3]

Hydrogeologické panvy s existenciou významných, priestorovo súvislých hydrogeologických kolektorov vrstvomého typu fluviálnych sedimentov kvartéru. Z kvartérnych sedimentov sú najvyššou priepustnosťou charakterizované fluviálne aluviálne štrky, menej terasové a prolúviálne štrky. Nízkou priepustnosťou sú charakterizované hlinité a ílovité deluviálne suty, ktorých hydrogeologická funkcia je obmedzená najmä pre ich malú priepustnosť a hrúbkou. [3]

3. Geotechnická analýza variant vedenia trasy povrchom a tunelom.

Pôvodná železničná dráha sa nachádza v údolí a lemuje svah z východnej strany vid' obrázok č.5, kde je zobrazená pôvodná a aj navrhovaná trasa tunelom.

3.1. Geotechnická analýza

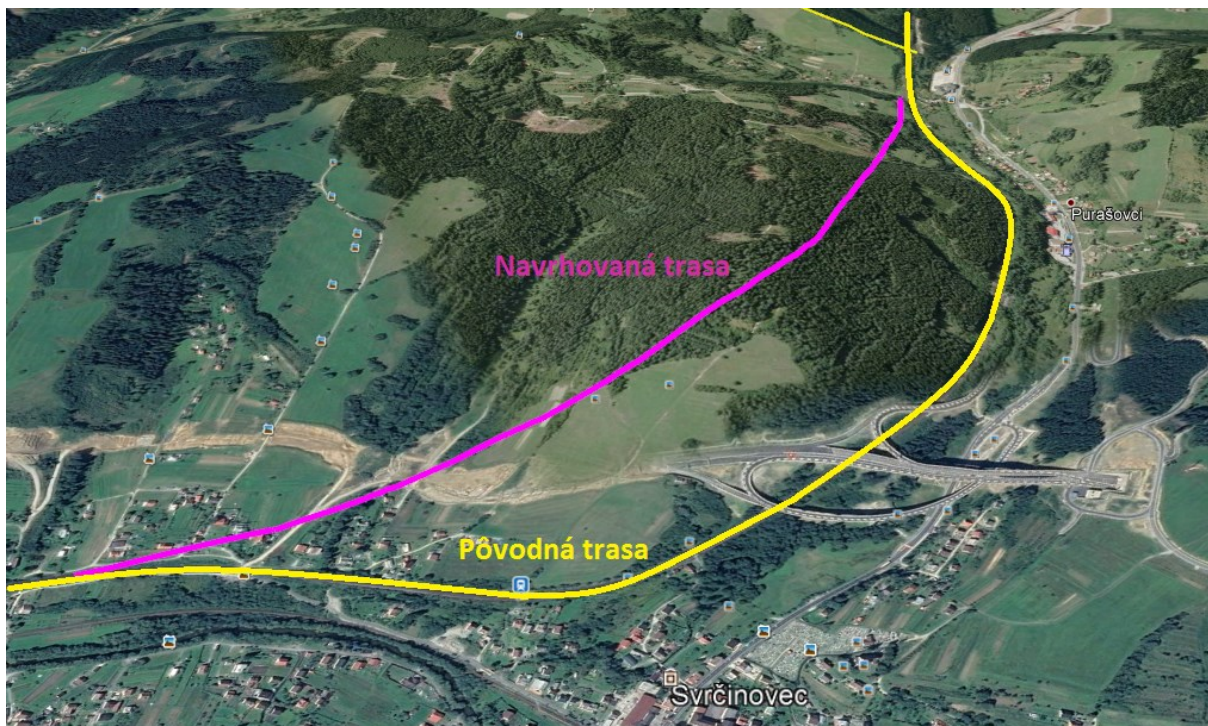
Podľa normy STN 73 7501 sú konštrukcie podľa náročnosti, zložitosti základových pomerov a rizika rozdelené do troch geotechnických kategórií: (EUROKOD 7) [5]

Prvá geotechnická kategória zahrnuje malé a relatívne jednoduché konštrukcie so zanedbateľným rizikom. Návrh konštrukcie sa vyhotovuje na základe skúseností a kvalitatívneho geotechnického prieskumu, ktorý musí byť vyhotovený najneskôr behom vyhotovenia stavby. [5]

Druhá geotechnická kategória zahrnuje obvyklé typy konštrukcií a základov s bežným rizikom alebo jednoduchými základovými pomermi alebo zaťažovacími podmienkami. Pre návrh je potrebné získať kvantitatívne geotechnické údaje a preukázať statickým výpočtom splnenie základných požiadavkou. Tieto údaje sa získavajú z predbežného a podrobného prieskumu. [4]

Tretia geotechnická kategória zahrnuje konštrukcie alebo ich častí, ktoré nepatria do prvej ale ani druhej GK, to znamená, že sú buď veľmi veľké alebo neobvyklé konštrukcie s abnormálnym rizikom alebo stavby, ktoré majú výnimočne obtiažne základové pomery alebo zaťažovacie podmienky. [5]

Pre vedenie trasy povrchom je potrebné do svahu vytvoriť zárez a zabezpečiť ho opernou stenou proti zosuvu. Steny a ostatné konštrukcie zadržujúce, podporujúce zeminu alebo vodu patria do druhej geotechnickej kategórie. Pre vedenie trasy tunelom v tvrdých neporušených horninách nevyžadujúcich zvláštne požiadavky na vodotesnosť alebo iné požiadavky patria taktiež do druhej geotechnickej kategórie.



Obrázok 5: Prehľadná situácia oblasti stavby – Svrčinovec [4]

3.2. Okolnosti pre a proti

Hlavnou výhodou tunelovej konštrukcie je predovšetkým fakt, že konštrukcia umožňuje vlakovej súprave rýchlejší prejazd územím, v ktorom sa nachádza množstvo výškových rozdielov, najmä vrchov a pohorí. Tunelové riešenie taktiež zabezpečuje odklonenie železničnej trate do podzemia a tak aj odvrátenie hluku z okolia obce Svrčinovec. Nevýhodou tunelového riešenia je ekonomická stránka stavby, pretože táto technológia si vyžaduje množstvo finančných prostriedkov na technológiu a celý stavebný proces. Ďalšou nevýhodou tunelu je časová náročnosť na výstavbu a to hlavne preto, že tunel sa razí z dvoch portálov, to znamená že sa pracuje najviac na dvoch miestach súčasne a to na čelbách tunela.

Výhodou riešenia trasy povrchom je oproti tunelu ekonomická stránka, napriek tomu, že na železničnej trati boli veľké komplikácie zosuvu svahu a preto sa tam museli riešiť operne steny a iné konštrukcie zabezpečujúce stabilitu železničnej trate a svahu v okolí komunikácie. Ďalšou výhodou vedenia trasy povrchom je úspora času pri výstavbe, či už pri operných alebo iných konštrukciách a to hlavne preto, že sa dá pracovať na viacerých miestach súčasne.

4. Metódy výstavby tunelovej varianty vrátane riešenia únikovej štóly

Pri razení tunelu vstupujú do výberu rôzne faktory, ktoré umožňujú správny výber tunelovanej metódy. Najčastejšími metódami pre ražbu tunelu v horninovom prostredí sú vŕtanie a odstrel, prstencová metóda, nová rakúska tunelovacia metóda, strojná ražba a rôzne špeciálne technológie. Strojná ražba ďalej zahŕňa TBM, štíty pre zeminy a uzatvorené štíty. Pre výber tunelovacej metódy pri obci Svrčinovec boli zohľadnené viaceré faktory. TBM a metódy razenia pomocou štítov boli pre tieto pomery finančne náročné. Z dôvodu veľkej praktickosti a univerzálnosti bola použitá nová rakúska tunelovacia metóda.

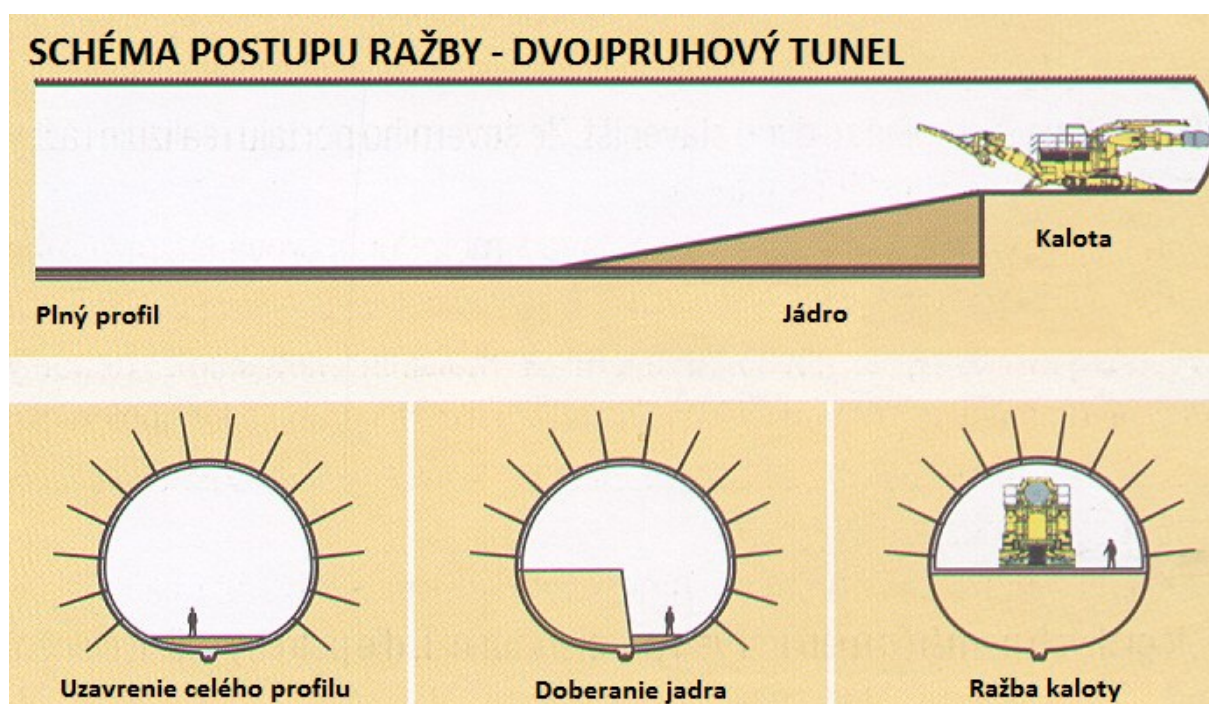
4.1. NRTM

Pri starých tunelovacích metódach, ktoré sa používali pred viac ako polstoročím, bolo hlavným znakom snaha prenášať všetko zaťaženie spôsobené horninovým prostredím do vystrojenia diela. Práve preto bola či už provizórna výdrevka, alebo definitívna obmurovka tunela pomerne masívna. Nová rakúska tunelovacia metóda je iným pružným pohľadom alebo až filozofiou spolupráce výstuže diela so samotným horninovým prostredím. Celý trik spočíva v tom, že horninový masív sa prinúti, aby časť svojej reakcie na vykonanie výrubu preniesol sám. Aj napriek tomu, že sa táto metóda začala využívať už v 60. rokoch, využíva sa dodnes, pretože existuje mnoho spôsobov jej aplikácie a jednotlivé prvky sa neustále vyvíjajú. Treba si však uvedomiť, že NRTM nestanovuje striktné postupy, ale že je to len vysokopružný princíp uplatňovania elementárnych zásad spolupôsobenia horninového prostredia v okolí tunela s jednotlivými vystrojovacími prvkami. [6]

Princíp NRTM spočíva v efektívnej kontrole deformačného procesu horniny v okolí výrubu s cieľom mobilizovať jeho prirodzenú pevnosť. Toho sa dosahuje technologickým opatrením – realizáciou primárneho pružného ostenia tunela v čase, ktorý je funkciou postupu ražby a následnej deformačnej reakcie horninového masívu a jeho okolia. Takto sa vlastne ovplyvňuje priebeh prerozdelenia napätosti horniny v okolí postupujúceho výrubu s cieľom maximálne zaintegrovať horninový masív do jedného statického systému s ostiením tunela. [6]

4.2. Popis NRTM

Nová Rakúska tunelovacia metóda je univerzálna metóda, závisí len na tom ako sa modifikuje. Množstvo a typ vystojovacích prvkov sa môže meniť prakticky s každým metrom. V našich podmienkach sú výrubové triedy veľmi pestré a menia sa veľmi často. Preto má táto metóda svoju nezastupiteľnú funkciu. Pri tejto metóde sa spravidla neotvára celá čelba naraz, ale pri súdržnejších horninách sa člení horizontálne, čo znamená, že najskôr sa razí kalota a v určitom oneskorení (50-200 metrov) sa razí stupeň. Ak je z pohľadu stability nutné profil uzatvoriť, nasleduje ešte vyrazenie protiklenby alebo dna. Toto všetko sa vystužuje iba primárnym ostením, ktoré je najčastejšie tvorené priehradovými nosníkmi, oceľovou sieťovinou a vrstvou striekaného betónu. Pri zaistení a spolupôsobení horninového masívu sa používajú ako súčasť výstroja horninové kotvy a svorníky. Pri horninách, ktoré umožňujú členiť čelbu iba horizontálne, sa používajú na jej rozpojovanie spravidla trhacie práce. Najskôr sa navŕta čelba (kalota) pomocou dvoj až trojlafetového vrtného stoja, nasledujú trhacie práce, odvoz výlomovej horniny, zaistenie výrubu oceľovými vystojovacími prvkami a zaistenie výrubu striekaným betónom. Striekaný betón sa môže aplikovať mokrou alebo suchou cestou no v poslednom desaťročí sa aplikuje mokrou cestou. [6]



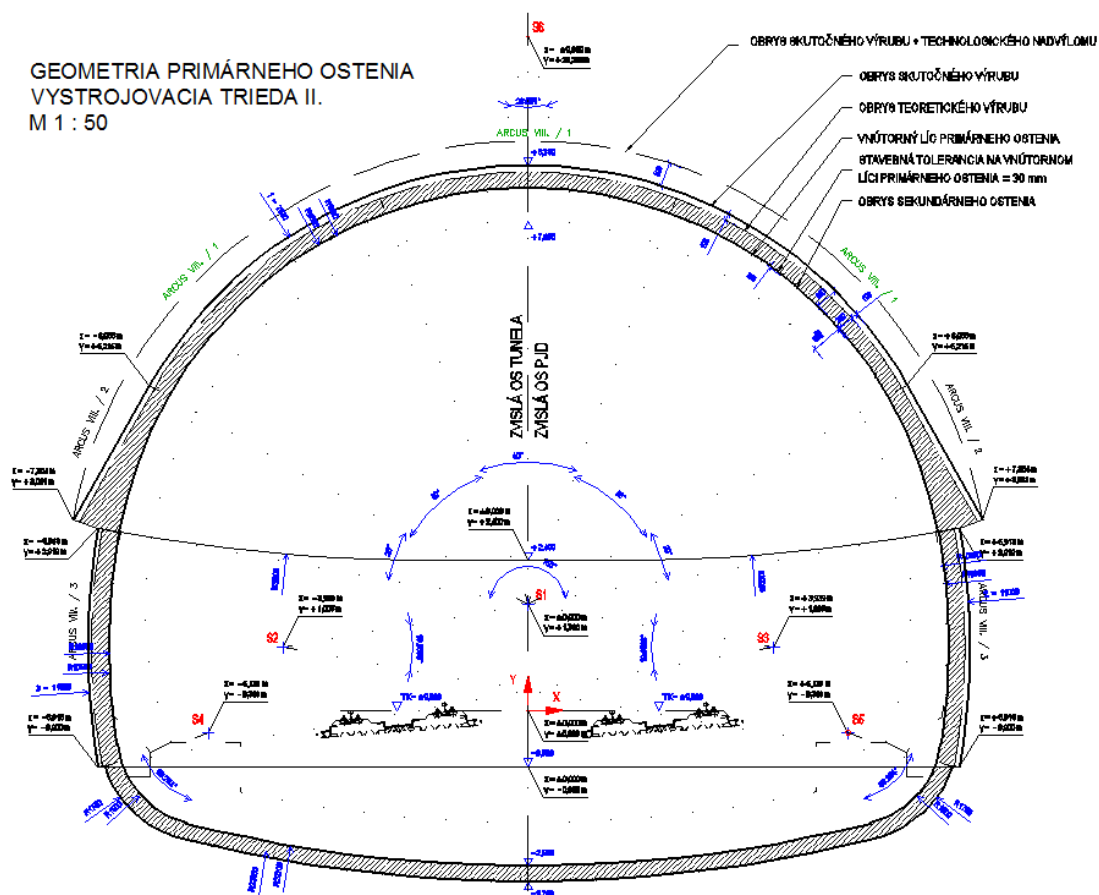
Obrázok 6: Schéma postupu ražby [5]

Pri tunelovaní v nesúdržných horninách hrozí, že pri otvorení celej kaloty dôjde k vypadávaniu alebo zavaľovaniu diela, preto sa čelba rozdeľuje aj vertikálne. V týchto podmienkach netreba používať vzhľadom na tvrdosť hornín trhacie práce a preto sa časti čelby otvárajú tunelbagrami. V týchto prípadoch je veľmi dôležité, aby sa celkový profil čo najrýchlejšie uzavrel. Takéto razenie si vyžaduje mimoriadnu technologickú disciplínu, aby jednotlivé vystrojovacie prvky boli aplikované v pravý čas. Najdôležitejšie je meranie konvergencií a stanovenie takého druhu a množstva vystojovacích prvkov, aby nedošlo k nadmernej deformácii primárneho ostenia alebo degradácii jednotlivých prvkov. [6]

Po doznení konvergencií môže nasledovať izolovanie tunela a následne budovanie definitívneho ostenia. Definitívne ostenie je tvorené železobetónom o hrúbke 30 – 50 cm, ktorý sa buduje pomocou posuvného debnenia. V súčasnosti sa vedie diskusia o tom, že do statického výpočtu je možné počítať aj s únosnosťou primárneho ostenia, čiže definitívne ostenie by bolo navrhované tak, že neprenáša celé zaťaženie, ale len jeho časť. Dnes sa ešte samozrejme in situ nedá preukázať, že primárne ostenie, ktoré nie je chránené izoláciou, nebude počas svojej životnosti degradované a tým stráca svoju únosnosť. Pokiaľ však s jeho únosnosťou počítame, primárne ostenie zabezpečí rovnovážny stav a zmyslom definitívneho ostenia je vlastne trvalá fixácia tohto rovnovážneho stavu. [6]

4.3. Geometria Primárneho ostenia

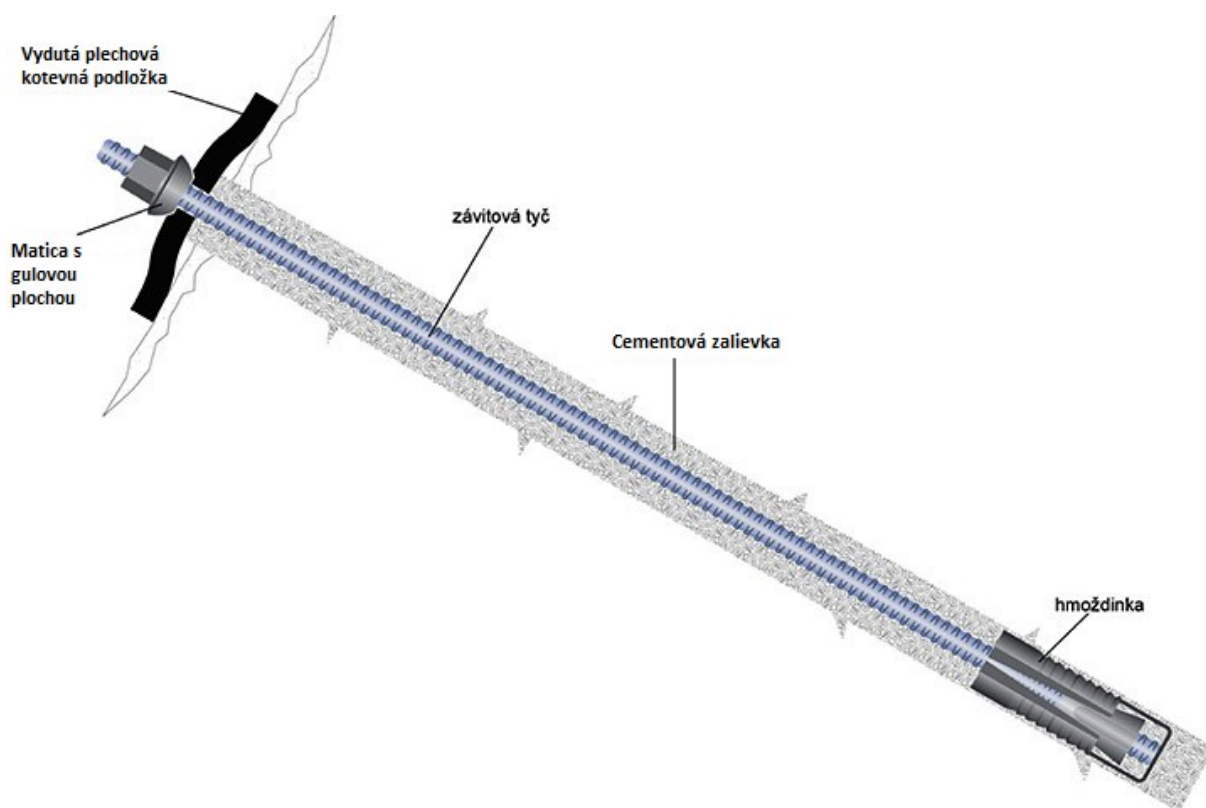
Primárne ostenie na dĺžke tunela má navrhnutú hrúbku 200 mm s vystrojením podľa namáhania prierezov v jednotlivých horninových typoch. V zmysle postupu razenia bol navrhnutý výstroj tunelovej rúry na základe odhadovaného správania sa horninového masívu. Navrhnutý výstroj bol zatriedený do vystrojovacích tried (VT). Primárne ostenie je tvorené striekaným betónom pevnostnej triedy C20/25 v kombinácii s výstužnými sieťami 150x150x8mm a priehradovými oceľovými nosníkmi ARCUS. Okrem toho sú navrhnuté ďalšie vystrojovacie prvky a to hydraulicky upínateľné svorníky s únosnosťou 200 kN.



Obrázok 7: Geometria primárneho ostenia, vystrojovacia trieda II. [6]

4.4. Svorníky

Svorníky sa používajú na zlepšenie horninového prostredia v okolí výrubu tunela. Geologické pomery sú v každom prípade veľmi rozličné a preto sa miesto a smer uloženia svorníka prispôsobuje podmienkam daného úseku tunela. Podľa typu vystrojovacej triedy sa navrhujú typy a najmä dĺžky svorníkov. V lepších podmienkach sa použijú trecie svorníky, ktoré sú hydraulicky rozpínateľné a sú tvorené špeciálne sformovanou rúrou. V horších podmienkach sa použijú, maltované svorníky (SN) resp. samozávrtné injekčné svorníky (systém IBO). Pri všetkých druhoch maltovaných alebo cementovaných svorníkov musia byť kotevné podložky po zatvrdnutí malty pevne pritlačené na podklad (hornina, striekaný betón, priehradový nosník) a to pritiahnutím matice, alebo pritlačením. O voľbe vhodného typu kotiev do daných geologických podmienok rozhodujú ekonomické pomery, požadované únosnosť a čas kedy dosiahnu tejto únosnosti. Na spevnenie horninového prostredia nad klenbou boli použité upínacie svorníky HUS s únosnosťou 200 kN. [7,8]



Obrázok 8: injektovaný horninový svorník [7]

Hlava svorníka zaisťuje ukotvenie tiahla do stavebnej konštrukcie a tým prenos sily zo svorníka do konštrukcie. Jej usporiadanie sa líši podľa typu tiahla. Hlavu tyčových svorníkov tvorí nalisovaný závit s veľkým stúpaním na tiahle, špeciálne matice a oceľová vydutá podkladaná doska, prípadne podkladaný zvarenec, používaný u šikmých svorníkov. Hlavy trvalých svorníkov sa chránia proti mechanickému či tepelnému poškodeniu a najmä korózií pomocou náterov a povlakov. Tiahla svorníku sú z hľadiska materiálu tvorené buď oceľovými tyčami alebo sklolaminátovými prvkami. Koreň svorníku slúži v prípade injektovaných svorníkov k prenosu sily do horninového prostredia a vytvára sa jednorazovou alebo opakovanou injektážou cementové suspenzie do vymedzenej časti vrtu.



Obrázok 9: Prekotvená oblasť [8]

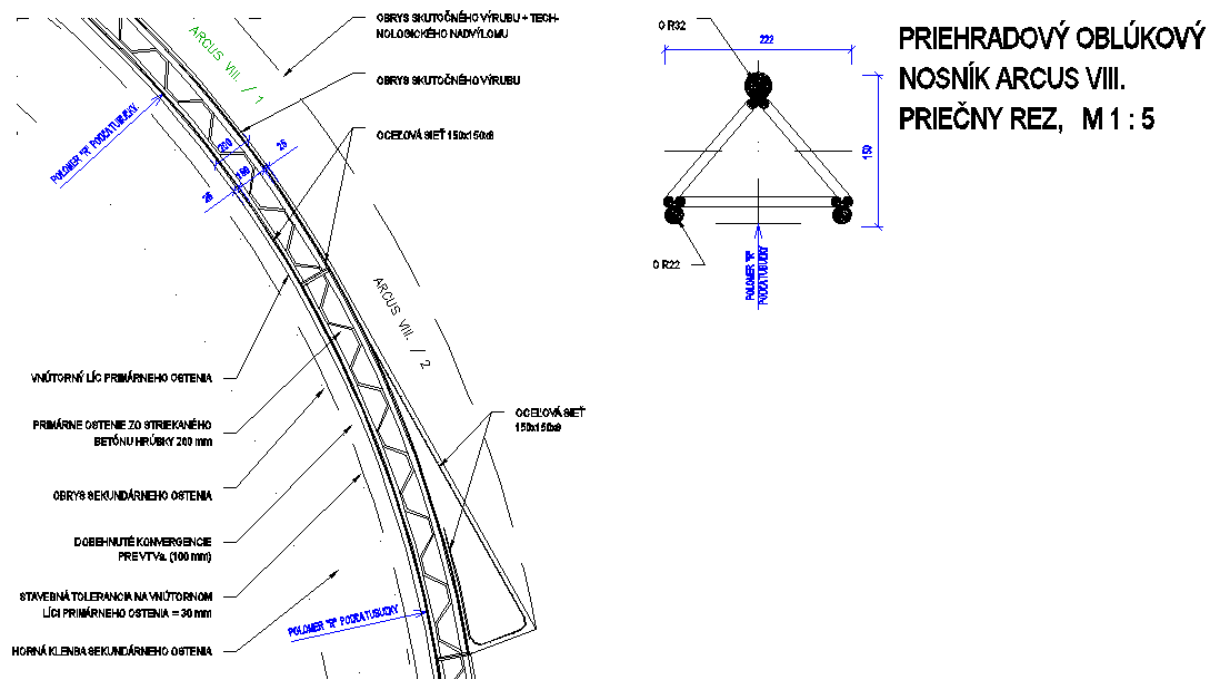
4.4.1. Rozdelenie svorníkov

Svorníky sa rozdeľujú podľa konštrukcie a spôsobu ukotvenia najpoužívanějších typov na:

- Svorníky s mechanickým ukotvením (klinové a škrobové svorníky)
- Svorníky kotvené syntetickým tmelom (lepené)
- Svorníky a klinec kotvené cementovými zmesami.
- Svorníky trecie (štrbinový svorník a hydraulicky upínaný svorník - HUS)

4.5. Oblúková výstuž

Oceľová oblúková výstroj sa používa ako hlavná nosná konštrukcia primárneho ostenia, ktorá slúži najmä v počiatočnej fáze razenia pokiaľ striekaný betón nadobudne svoju pevnosť. Oceľové nosníky sa rozdeľujú na banskú oceľovú výstuž, oceľová výstroj z bežných valcovaných profilov a vystužených priehradových nosníkov. [8]



Obrázok 10: Schéma priehradového oblúkového nosníka ARCUS VIII. [6]

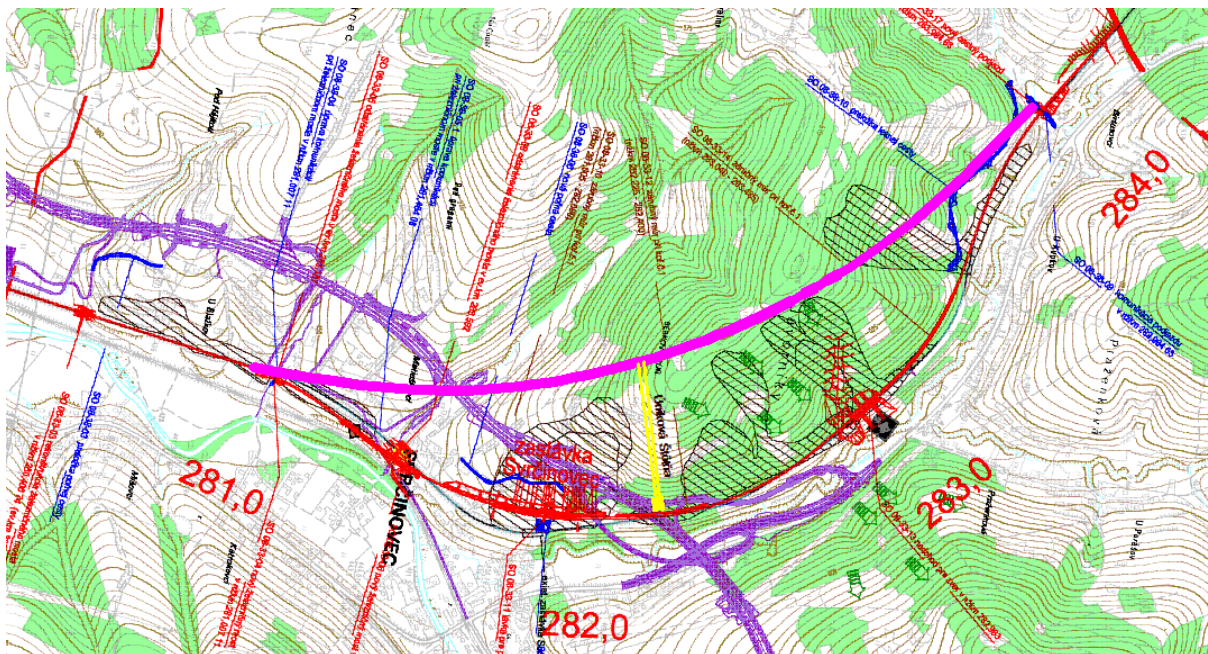
4.6. Striekaný betón

Striekaný betón je strojne nanášaná betónová zmes so zrnitosťou až 16 mm ale najčastejšie sa používajú zmes do 8 mm pri spotrebe cementu 400 až 600 kg/m³ a pridáva sa urýchľovač tuhnutia. Betón sa strieka po vrstvách hrúbky 6 až 15 cm a keď betón zatuhne aplikuje sa ďalšia vrstva, ktorá sa dokonalo spojí s vrstvou pôvodnou. Výroba striekaného betónu sa prevádza morkou aj suchou cestou. Výhodou suchého striekaného betónu je aplikácia na mokré povrch výrubu. [9]

Na primárnom ostení tunelu bol použitý striekaný betón o hrúbke 200 mm, z toho vyplýva, že bol striekaný na dva krát po približne 10 cm.

4.7. Riešenie únikovej štôlne

Úniková štôľňa tunelu pri obci Svrčinovec bola navrhnutá ako trvalá konštrukcia pre únik osôb pri nehode alebo iných nebezpečných situáciách. Úniková štôľňa je zobrazená na obrázku číslo 8.



Obrázok 11: Úniková štôľňa tunelu Svrčinovec [9]

4.7.1. Bezpečnostné stavebné prvky podľa normy STN 737508 zahŕňajú:

- Výklenky
- Núdzové východy
- Objekty chránených únikových ciest
- Prístupové komunikácie a nástupné plochy

4.7.2. Bezpečnostné výklenky

Pokiaľ nie je v tuneli k dispozícii bočný bezpečnostný priestor šírky min 0,5 m od zóny ohrozenia alebo nie je zaistená bezpečnosť pracovníkov oprávnených na pracovnú činnosť v tuneli opatreniami definovanými v miestom predpise musia byť tunely vybavené bezpečnostnými výklenkami v dvojkoľajných tuneloch na oboch stranách umiestnených proti sebe. Vzájomná vzdialenosť záchranných výklenkov nesmie prekročiť 25m. Bezpečnostný výklenok musí mať minimálne svetle rozmery 2,0 x 0,75 x 2,2 m (šírka x hĺbka x výška) [10]

4.7.3. Núdzové východy

Núdzové východy z tunelovej rúry, ústiace priamo na voľné priestranstvo alebo ústiace od bočnej únikovej štôlne alebo do priečneho prepojenia vedúceho do únikovej šachty, sa musia zriadiť minimálne každých 1000 m. [10]

4.7.4. Objekty chránených únikových ciest

Priečne prepojenia v tuneli spájajú tunelovú rúru s paralelnou únikovou štôľňou alebo s únikovými šachtami alebo paralelné tunelové rúry navzájom. Priečne prepojenia dlhšie ako 50m musia byť vyhotovené tak, aby konštrukcie oddeľujúce dopravný priestor a chránenú únikovú cestu vytvorili komoru s minimálnou dĺžkou 12 m slúžiacu na zamedzenie vnikaniu dymu a sploín horenia z tunelovej rúry v prípade požiaru. [10]

Steny oddeľujúce priestor komory musia byť vybavené dverami minimálnej šírky 1,4 m a minimálnej výšky 2,0 m. Dvere komory na strane dopravného priestoru musia byť dimenzované na aerodynamické účinky od prejazdov vlakových súprav. Podľa spôsobu otvárania dverí sú prípustné tieto vyhotovenia dverí:

- Dvojkridlové otočné dvere,
- Posuvné dvere (jednodielne alebo viacdielne)
- Otočno-posuvné dvere.

V prípade, keď priečne prepojenie spája paralelné tunelové rúry navzájom, sa v prípade dvojkridlových otočných dverí musí vždy pre uvažovaný smer úniku pravé kridlo dverí otvárať v smere úniku. V prípade, keď priečne prepojenie spája tunelovú rúru s únikovou šachtou, musí sa pri päte šachty zriadiť zhromaždisko s minimálnou plochou 25 m². [10]

4.7.5. Únikové štôlne

Navrhujú sa ako priechodné, so šírkou spevnenia medzi päťami ostenia a výškou priechodného prierezu ako u priechodného priečneho prepojenia. Svetlý prierez musí vyhovovať priechodnému prierezu s rozmermi 2,25 m x 2,25 m. Pozdĺžny sklon povrchu spevnenia nemá byť väčší ako 10%, pričom musí byť zaistená dostatočná drsnosť povrchu. Núdzové východy z tunelovej rúry do únikovej štôlne sa budujú rovnako ako pri priečných prepojeniach, obrázok č.8. Vybavenie únikovej štôlne musí zodpovedať vybaveniu chránenej únikovej cesty. V prípade, že je štôľňa dlhšia ako 300 m, sa zriaďuje vyhýbací záliv, v ktorom

je priechodný prierez rozšírený o 1,5 m na jednu stranu a otáčací záliv, v ktorom je priechodný prierez rozšírený o 2,2 m na obe strany. [10]



Obrázok 12: Dispozičné riešenie únikovej štôlny [10]

5. Vystrojovacie triedy

Počas razenia sa priebežne zaznamenávajú skutočné geologické a hydrogeologické podmienky v trase tunela, ktoré slúžia pre optimálne doplnenie dokumentácie technologických vystrojovacích tried. Táto dokumentácia slúži na porovnávanie predpokladaných a skutočných podmienok v trase a krátkodobým prognózam. Využíva sa pre určenie konkrétneho postupu prác pri razení podzemného diela a podieľa sa na zabezpečení vhodných podmienok pre výstavbu z hľadiska použitia mechanizmov, bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. Týchto tried je šesť a nižšie sú vypísané tie, ktoré boli použité v tuneli pri obci Svrčinovec. Vid'. príloha číslo 1. [11]

5.1. Pracovný postup a spôsob zaistenia výrubu.

Pri konvenčnom cyklickom razení tunelu sa postupuje plným alebo členeným prierezom. U členených prierezov sa používa široká škála variant. Systémovo však ide o vertikálne alebo horizontálne členenie, respektíve ich kombináciou. Voľba spôsobu rozpojovania horniny, dĺžky záberu a spôsobu zaist'ovania výrubu závisí na veľkosti prierezu výrubu, vlastnostiach horninového prostredia na trase a je do značnej miery ovplyvnená aj tradičnými postupmi, s ktorými majú odborníci vyspelých tunelárskych zemí skúsenosti [11]

5.1.1. Vystrojovacia trieda 2:

Hornina je lámavá, takže vyžaduje zaistenie, ktoré je s ohľadom na dobu stability nezaisteného výrubu ide zabudovať s odstupom za čelbou v pracovnej oblasti pod stropom, preto rozpojovanie horniny a nakladanie rúbaniny sa ovplyvňuje navzájom iba málo. Raziť je možné plným prierezom s dĺžkou záberu max 3,5 metra. Razi sa s použitím trhavín pri dodržaní zásad teórie hladkého výlomu. Výrub treba zaist'ovať systémovým kotvením s použitím vhodných typov kotiev dĺžky 2 až 3 metre v klenbovej časti. Lokálne je za potreby použiť aj striekaný betón, najmä v horninovom prostredí kde sa nachádza hustá sieť nespojitých plôch. Pokiaľ má tunel veľký prierez, je niekedy výhodné raziť členeným prierezom. Z pravidla sa volí členenie horizontálna na kalotovú a opernú časť. Vzhľadom k mechanizácii práce má byť výška kaloty 5 až 6 metrov. U kratších tunelov sa k výlomu opernej časti pristupuje z pravidla až po prerazení kaloty. U dlhších tunelov má byť operná časť razená s takým odstupom za čelbou kaloty, aby na stupni medzi nimi bol dostatok priestoru pre odstavenie práve nepoužívaných mechanizmov a umiestnenia skládok materiálu. Volí sa z pravidla dĺžka 150 metrov a viac. Operná časť výrubu je pozdĺžne členená a razí sa striedavo jej lavá a pravá

strana, aby bol umožnený prístup do kaloty rampou. Dĺžka záberu v opernej časti môže byť až 1,5 násobok záberu v kalote. V triede raziteľnosti 2 sa dosahuje postupu až 10 metrov za deň pri práci na tri zmeny. [11]

5.1.2. Vystrojovacia trieda 3:

Hornina je lámavá až drobivá, osvedčuje sa razenie s horizontálne členeným prierezom po záberoch dĺžky maximálne 2,5 metra. Primárne ostenie je nutné zabudovať s minimálnym odstupom za čelbou v pracovnej oblasti (5m od čelby) a v oblasti od 5 do 35 metrov od čelby ho v prípade potreby zosilniť. K zaisteniu výrubu je nutné systémové kotvenie a v oblasti kaloty aj striekaný betón a oblúková výstroj. Zaistenie výrubu je treba ukončiť pred začiatkom práci na ďalšom zábere. Zaisťovanie čelby výrubu nieje potreba. Predstih kaloty pred výrubom opernej časti nemá byť väčší ako 50 až 100 metrov, aby bol celý výrub čo najskôr zaistený uzavretým prstencom primárneho ostenia, pritom v spodnej časti výrubu sa zaisťuje doska alebo protiklenba. Zvislé steny výrubu je možné zaistiť striekaným betónom aj naraz po niekoľkých záberoch. Striekaný betón sa navrhuje v hrúbke 100 až 150 mm a je vystužený jednou vrstvou sietí. Dĺžka kotiev býva približne 4 metre. V tejto triede je možné dosiahnuť 5 až 8 metrov za deň a razí sa pomocou trhavín. [11]

5.1.3. Vystrojovacia trieda 4:

Hornina je lámavá, drobivá až slabo tlačivá, výrub vyžaduje zaistenie bezprostredne po otvorení. Razí sa s horizontálne členeným prierezom po záberoch dĺžky maximálne 2,0 metre. V opernej časti môžu byť zábery až dvojnásobnej dĺžky. Pokiaľ je exponované čelo kaloty nestabilné, je nutné ho zaistiť striekaným betónom a kotvením, resp. ponechať v jej strede operný klin horniny. Hornina sa rozpojuje slabými náložami na nakyprenie, alebo mechanicky. Výrub sa rozširuje na plný prierez vo vzdialenosti menšej než 50 metrov od čelby kaloty, aby bolo možné čo najskôr uzavrieť primárne ostenie protiklenbou. Výrub sa zaisťuje striekaným betónom o hrúbke 150 až 200mm s dvoma vrstvami oceľových sietí. Do každého záberu sa vkladá vystužovací oblúk. Prvý oblúk má byť osadený vo vzdialenosti maximálne 0,5 metra od čelby. Primárne ostenie sa v prípade potreby najmä v klenbovej časti zosilňuje vencom kotiev dĺžky 4 až 6 metrov. K zaisteniu stability spodnej časti výrubu stačí vybetónovať protiklenbu. V tejto triede je možné dosiahnutie 4 až 6 metrov za deň pri troch až štyroch záberoch na každej čelbe pri práci na tri zmeny. [11]

5.1.4. Vystrojovacia trieda 5:

Hornina je silne lámavá respektíve tlačivá. Dĺžka záberu pri razení je maximálne 1,5 metra. Razí sa horizontálne členeným prierezom s kalotou výšky maximálne 4 metre opernú časť výrubu členenú niekedy na dva výškové stupne a priestor pre protiklenbu. Pri razení kaloty musí byť do každého záberu osadený vystužovací oblúk. Razí sa spravidla bez použitia trhavín. Hornina sa rozpojuje s tunelovým bagrom, impaktorom alebo výložníkovou frézou. Výrub kaloty sa zaist'uje striekaným betónom hrúbky 200 až 300 mm s dvoma vrstvami vystužovacích sietí. Ku zvýšeniu únosnosti sa osadzujú kotvy dĺžky 6 až 8 metrov. Zvýšenie bezpečnosti pri razení kaloty je možné dosiahnuť niektorým z týchto pomocných opatrení:

- V strede kaloty sa ponechá operné jadro horniny, čím sa zmenší plocha exponovanej čelby a vzhľadom k zmenšeniu množstva horniny, ktorú je treba rozpojiť a odťažiť, sa skráti aj doba, ktorá uplynie medzi otvorením a zaistením výrubu.
- Až dvojnásobne sa rozšíria pätky klenby zo striekaného betónu, aby sa zabránilo ich nadmerným vertikálnym posunom pri podchyťovaní primárneho ostenia kaloty. Pätky klenby je možné aj prikotviť, respektíve podoprieť mikropiloty.
- Zriadi sa dočasná spodná klenba kaloty zo striekaného betónu.
- Ku zlepšeniu stability sa čelba zaistí striekaným betónom a kotvením
- Pred plochu čelby sa predháňajú oceľové ihly, samozavrtávacie kotvy, respektíve sa vytvárajú ochranný dáždnik z mikropilot – silno tesniacich rúr.
- Dôležité je tiež, aby primárne ostenie bolo dobudované do uzavretého tvaru čo najskôr, pokiaľ možno s odstupom maximálne 10 až 15 metrov za čelbou kaloty.

Denné postupy dosahujú až 4 metre na jednej čelbe pri práci na tri zmeny. [11]

6. Návrh a statické riešenie tunelového ostenia

6.1. Primárne ostenie

Primárne ostenie je základným zaisťovacím prvkom výrubu pri ražbe Novej rakúskej tunelovanej metóde. V programe GEO 5 MKP sa modeluje pomocou nosníkových prvkov. Tie sa zadávajú v topológii výpočtu vytvorenej línie, ktoré predstavujú strednice nosníkov. Parametre materiálov nosníkov a ich dimenzie ide v jednotlivých fázach výpočtu meniť, prípadne ľubovoľné nosníky z výpočtu úplne vypustiť. Po prevedení výpočtu si na primárnom ostení (nosníkoch) môžeme nechať vykresliť priebehy vnútorných síl, na ich základe následne primárne ostenie nadimenzujeme. Pri modelovaní tunelu Svrčinovec bolo predpokladané primárne vystrojenie výrubu striekaným betónom C 20/25 a svorníkovou výstužou - (HUS, typ WIBOLT EXP) dĺžky 3 metre s únosnosťou 200 kN rozmiestené radiálne okolo výrubu kaloty vo vzdialenosti 0,5 m v priečnom aj pozdĺžnom smere. Hrúbka primárneho ostenia bola vo výpočtovom modeli odhadnutá na 200 mm, čo sa pri následnom dimenzovaní na výpočtové hodnoty vnútorných síl ukázalo ako optimálne. [12]

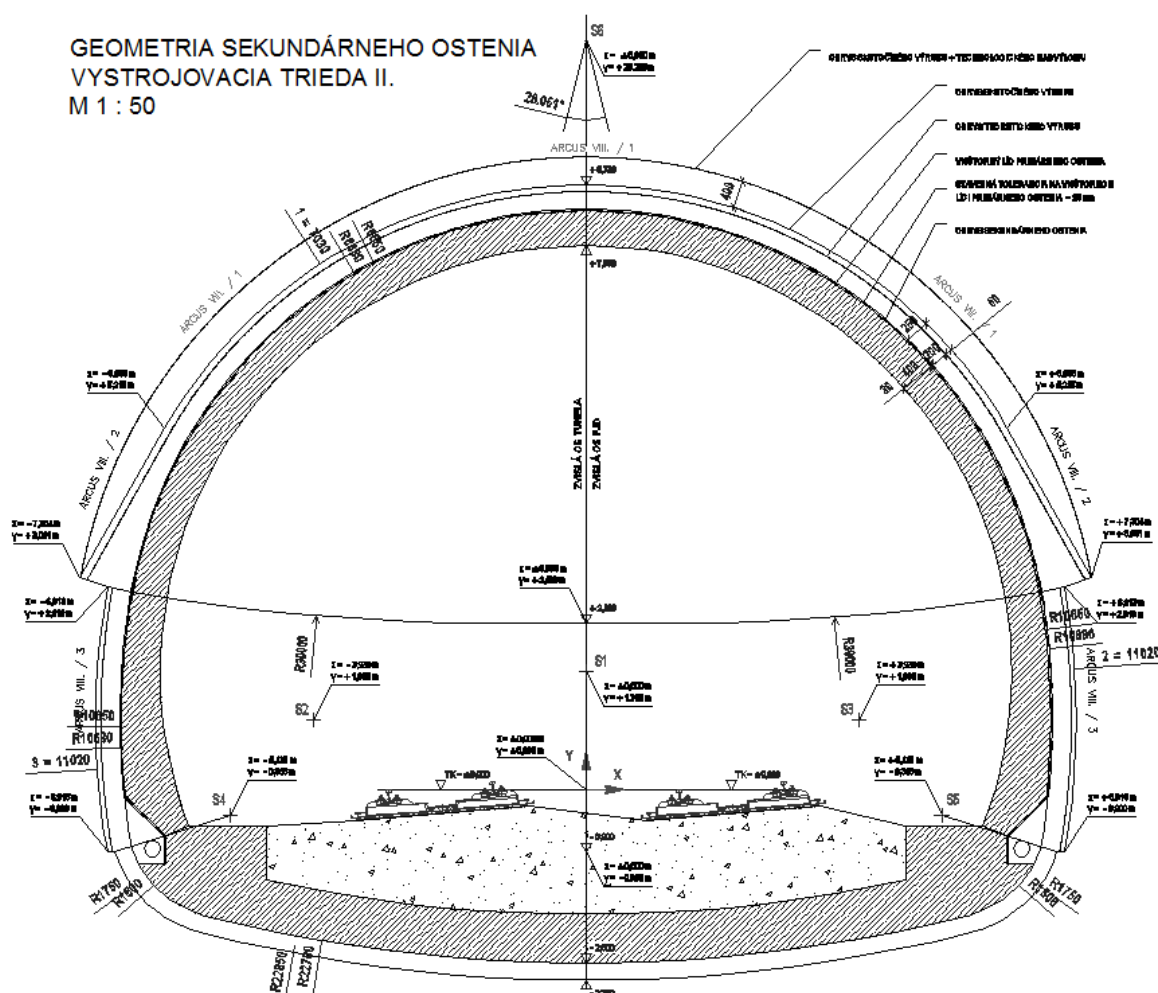
6.2. Sekundárne ostenie

Funkcia sekundárneho ostenia tunelu musí spoľahlivo zaisťovať výrub za celú dobu výstavby ale aj počas celej doby životnosti podzemného diela, ktorá sa stanovuje na sto rokov. Behom tejto doby by malo ostenie:

- Prenášať všetky vzniknuté zaťaženia, bez toho aby došlo k vyčerpaniu únosnosti
- Vykazovať dostatočnú tuhosť, aby sa jeho deformácie pohybovali v limitovaných hraniciach z hľadiska statického pôsobenia aj geometrického tvaru, aby sa zachoval požadovaný prejazdný prierez vrátane poistného priestoru v medziach prípustných tolerancií.
- Zaistiť spoľahlivú ochranu vnútorného priestoru proti presakovaniu podzemnej vody cez ostenia, pracovný a dilatačnej spáři, priestupy vedenia.

Konštrukčné usporiadanie sekundárneho ostenia závisí na zvolenej technológii výstavby a geologických podmienkach na trase. Pokiaľ sú geologické podmienky na trase dobré a výrub stabilný, stačí k jeho zaisteniu pružné, tenkostenné ostenie, dole otvorené, doplnené iba o kryt dna. Naopak pokiaľ je horninové prostredie tlačené s krátkodobou stabilitou výrubu, je nutné prierez ostenia uzavrieť spodnou klenbou, ktorá základy respektíve pätky klenby

rozopiera a tvorí s horným ostením staticky výhodnú, uzavretú rámovú konštrukciu. Je dôležité si uvedomiť, že na zaistenie funkčnosti ostenia v tlačných, málo únosných horninách je nutné ich založenie na masívnej spodnej klenbe, ktorá zabezpečí rozloženie reakcií od tlaku na hornú klenbu na neúnosné podložie. Čím menej únosné podložie je, tým masívnejšia musí byť spodná klenba. Hrúbku hornej klenby ostenia je len zriedka nutné navrhnuť väčšiu ako 0,3 metra a maximálne 0,5 metra, a väčšinou ani nie je nutné ostenie armovať. Tunely razené konvenčne majú takmer výhradne klenutý, dole rozšírený prierez, ktorý je výhodný nielen zo statického a realizačného hľadiska, ale aj z hľadiska využiteľnosti pre umiestnenie prejazdného prierezu cestných a železničných tunelov. V návrhu bola použitá hrúbka sekundárneho ostenia 400 mm. [12]



Obrázok 13: Geometria sekundárneho ostenia [6]

6.3. Numerické modelovanie tunelu

6.3.1. Popis programu GEO5

Programový software GEO5 je súborom samostatných programov, ktorý poskytuje riešenie pre väčšinu geotechnických úloh. Programy majú rovnaké užívateľské rozhranie a vzájomne spolu komunikujú. Každý program komplexne posudzuje určitý typ konštrukcie.

Program MKP: Program je založený na metóde konečných prvkov slúži k analýze rady geotechnických úloh ako sadanie terénu, operné a pažiacie konštrukcie, stabilita svahu, exkavácia a tunely. Program ponúka niekoľko materiálových modelov pre zeminy a množstvo konštrukčných prvkov ako pažiacie steny, kotvy, geotextílie, geomreže, rozpery. Program MKP slúži na výpočet deformácií, vnútorných síl v konštrukčných prvkoch a ďalej tiež napätí, pretvorení a plastických oblastí v zemi. Analýza je rozdelená podľa konštrukčných fáz výstavby. S rozširujúcimi modulmi program dovoľuje analyzovať výstavbu tunelu, ustálené a neustálené prúdenie podzemnej vody či združený problém konsolidácie. [12]

Zadávanie v programe GEO MKP sa odlišuje od ostatných programov GEO5 v tom, že je nutné najskôr zadať topológiu konštrukcie. Najskôr je nutné zadať rozhranie vrstiev zemín, línie stavieb, parametre zemín, kontaktou a vygenerovať sieť konečných prvkov. Pre správne zadávanie je vhodné sa zoznámiť s zavedenými súradnými systémami. Režim zadávania topológie sa volí stisnutím tlačítka na vodorovnej lište [Topo] – „Fáza budovania“. Vlastné výpočty sa prevádzajú vo fázach budovania, v ktorých môžeme definovať aktivitu časti konštrukcie, zadávať nosníky, kotvy, pritlačenie, modelovať vplyv vody a ďalšie. Podľa zvoleného módu sa taktiež mení zvislá ovládacia lišta programu. [12]

Rám „Projekt“ je určený k zadaniu základných dát o úlohe.

Nastavenie je určené k celkovému nastaveniu výpočtu programu. Volia sa tu základné teórie popri prípade normy, podľa ktorých sa bude úloha počítať. V ráme sa zadávajú charakteristiky úlohy (typ úlohy, typ výpočtu), spôsob výpočtu primárnej napätosti (geostatická napätosť, Ko procedúra) a výpočtové normy pre betónové a oceľové konštrukcie.

6.3.2. Tunely GEO5

V ráme „Nastavenie“ je možnosť zaškrknúť voľbu „Tunely“. V prípade voleného režimu ide v programe zadávať a počítať:

- exkavacie (modelovanie 3D efektov čelby u novej rakúskej tunelovacej metódy)
- zaťaženie nosníkov
- zaťaženie oblasti teplotou (je požadované rozšírené zadávanie)
- zaťaženie oblasti bobtnaním
- monitory výsledkov

6.3.3. Návrh zaťaženia, β – metóda

Tunel bol v programe GEO5 MKP modelovaný iba 2D (rovinný model). Bolo treba použiť približnú metódu stimulujúcu tretí rozmer a zohľadniť priestorové zmeny napätosti horninového masívu, ktoré pri ražbe prebiehajú v oblasti čelby. Platí tu fakt, že dočasne nevystrojený výrub nieje namahaný plným zaťažením, pretože mu pomáha už skor vystrojená časť výrubu a horninový masív pred čelbou. A preto sa používa k modelovaniu tohto procesu β -metóda. Hlavná myšlienka tejto metódy je v tom, že pôvodná napätosť horninového masívu pôsobiaca v okolí budúceho tunelu je rozdelená na dve zložky. Prvá zložka sa použije v prvom kroku zaťaženia nevystrojeného výrubu. Druhá zložka sa v druhom kroku nechá pôsobiť na už primárnym ostením zaistenom tunel. Pri modelovaní členeného výrubu je nutné postup opakovať pre každý diel výrubu. [12]

6.4. Vstupné údaje

Vstupné údaje je nutné do výpočtového modelu zadať dôkladne, pretože majú veľký význam pre dosiahnutie správnych výsledkov. Väčšina vstupných údajov sa dá získať v literatúre, normách alebo skúškach a geologických vrtoch. Pre numerické modelovanie tunelu bol vybraný reprezentatívny rez pre podmienky vystrojovania s najdlhšou kumulatívnou dĺžkou, ktorá odpovedá vystrojovacej triede II. Namodelovaný rez zobrazuje 1,86 kilometer tunela.

6.4.1. Rozhranie úlohy

Rozhranie úlohy je jedným z najdôležitejších vstupných údajov výpočtu. Rozhranie musí byť dostatočne veľké na to aby neobmedzovalo výpočet svojimi hranicami a nemôže byť moc veľké aby výpočet netrval príliš dlho. Okrajové podmienky sú také, že spodná hranica rozhrania je líniovo pevne podoprená vo vodorovnom aj zvislom smere. Hranice na pravej a ľavej strane sú pevne podoprené vo vodorovnom smere ale zvislo sú voľné. Hranica na vrchnej časti podoprená nie je.

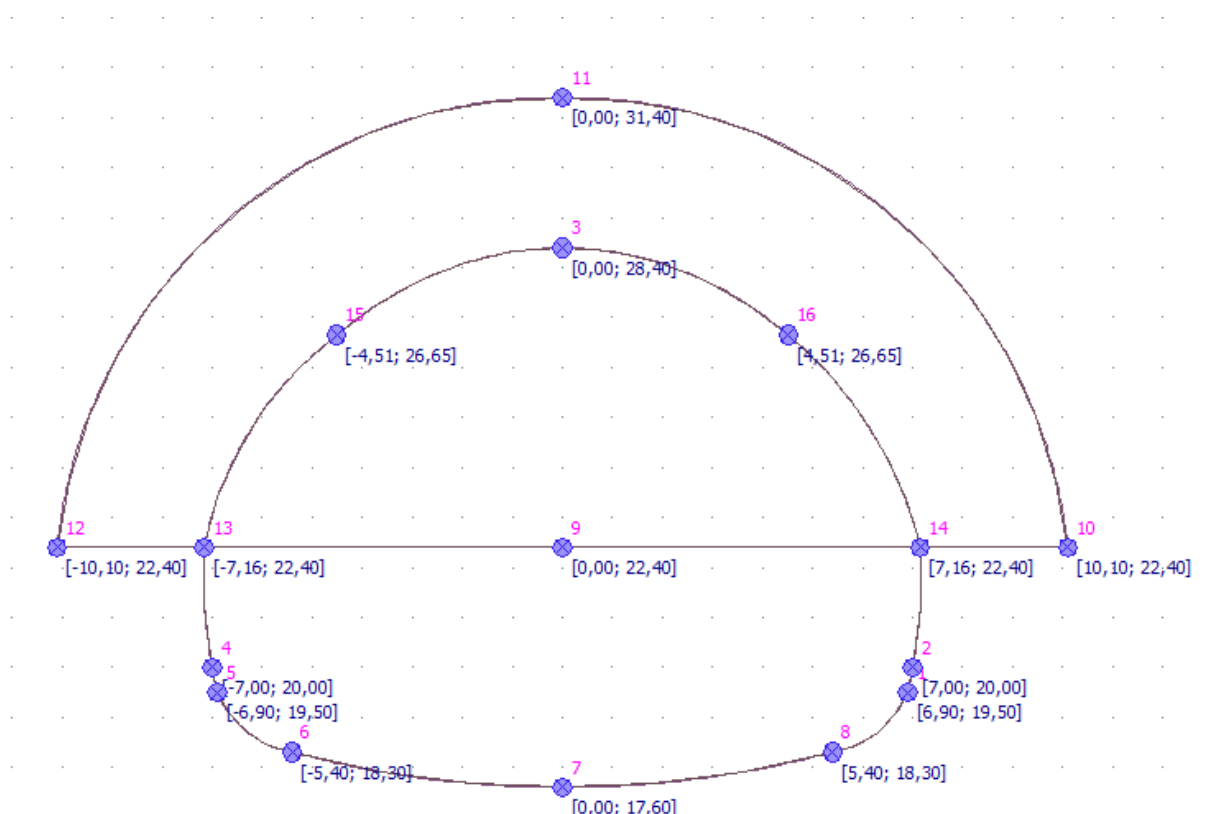
6.4.2. Modelovanie

Modelovanie tunelu začína zadaním rozhrania, vložením vhodných zemín a priradením zeminy. Ďalším krokom je zadanie typu kontaktných prvkov, ktoré sa zavádzajú na rozhranie ostenia so zeminou alebo horninou. Zvolené parametre sú:

- Šmyková tuhosť: $K_s = 20\,000 \text{ kN/m}^3$,
- Normálová tuhosť: $K_n = 50\,000 \text{ kN/m}^3$
- Redukcia zemín: $\delta c = \delta \mu = 0,8$

Kontaktné prvky umožňujú zohľadniť vzájomné pôsobenie materiálov pozdĺž rozhrania medzi zeminou a konštrukciou, respektíve medzi jednotlivými zeminami. Kontaktný prvok má nulovú hrúbku a vyjadruje vzťah medzi kontaktnými napätiami a relatívnou zmenou posunov pozdĺž kontaktov. V tomto prípade uvažujeme kontaktné prvky na rozhraní primárneho ostenia a horniny. [12]

Nasleduje zadanie tvaru výrubu voľnými bodmi s pridaním troch bodov, ktoré modelujú priestor nad klenbou a reprezentujú miesto vystužené svorníkmi. Nasleduje zadanie línií, ktoré spoja voľné body a vymodelujú presný tvar tunelu. Behom budovania podzemného diela sa uvažuje zabezpečenie stropu svorníkmi. Toto sa obvykle v inžinierskej praxi modeluje ako zlepšenie parametrov horniny, ktorá sa v danej oblasti nachádza. Výsledný tvar modelovaného ostenia je znázornený na obrázku. Nasleduje zahustenie línií troma možnými spôsobmi a to zahustenie bodovo, zahustenie líniovo alebo zahustenie voľné. V prípade modelovania tunelu pri obci Svrčinovec bolo použité líniové zahustenie a následne generovanie siete prebehlo bez problémov.



Obrázok 14: Výsledný tvar modelovaného ostenia [8]

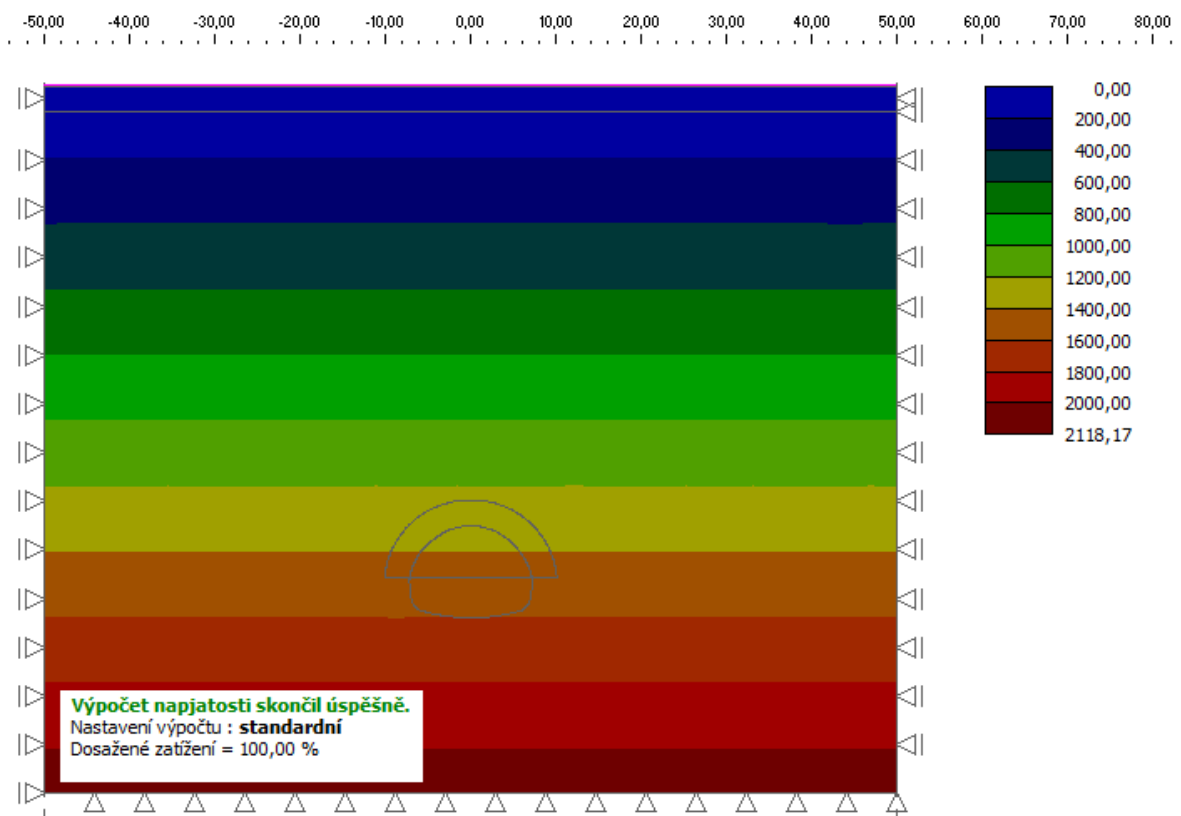
Následne namodelujeme primárne ostenie zo striekaného betónu C 20/25 s hrúbkou 200 mm. Do numerického modelu zavádzame iba striekaný betón a vplyv nárastu pevnosti takzvaný modul pružnosti v čase.

Fáza zrania striekaného betónu	Modul Pružnosti E_{cm} [MPa]	Modul pružnosti v šmyku G [MPa]
Mladý betón	2 900	1 134
Vyzretý betón	29 000	11 340

Tabuľka 2: Hodnoty modulu pružnosti striekaného betónu [2]

6.4.3. Fázy budovania a výsledky modelu

Po vygenerovaní siete nasleduje výpočet primárneho geostatického napätia. Tento proces je v modeli uvedený ako fáza 1.

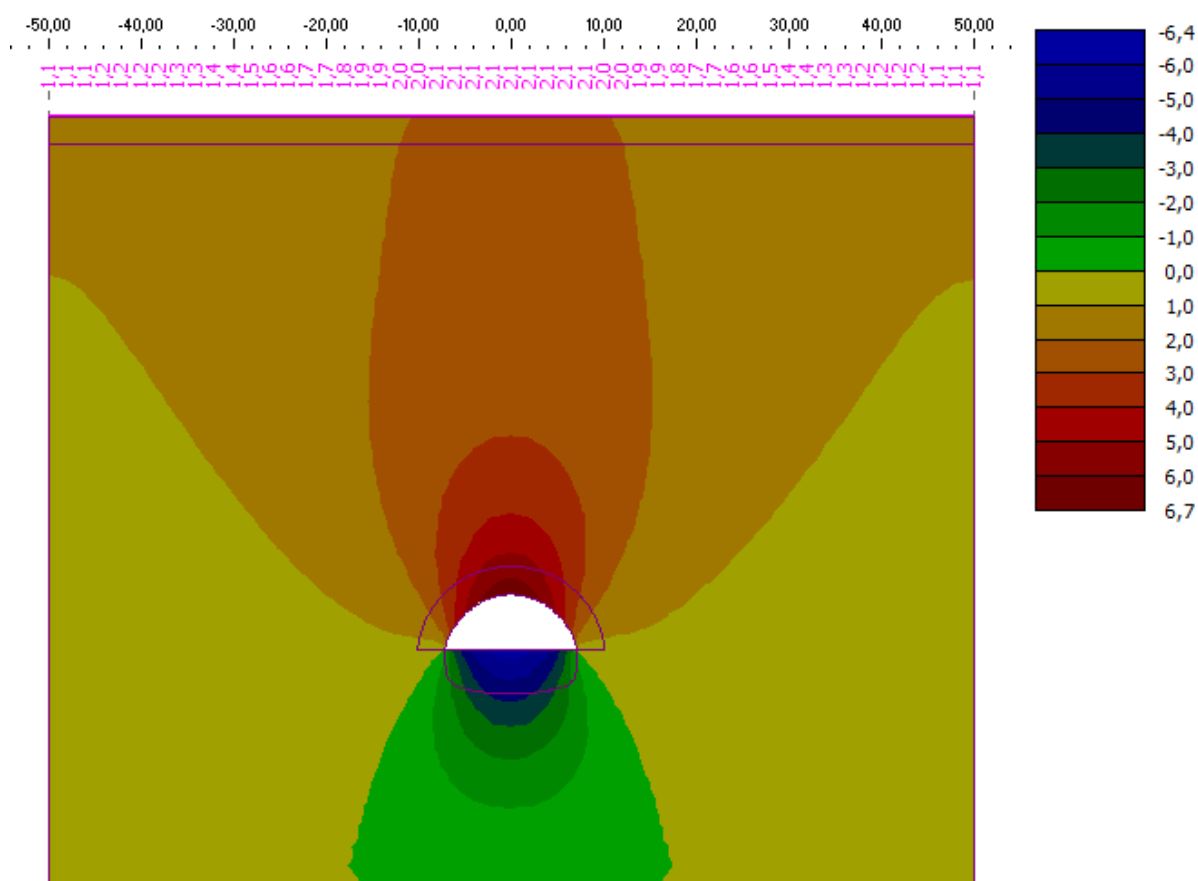


Obrázok 15: Primárna geostatická napätosť [8]

Vo fáze dva dochádza k výrubu kaloty a aktivácii nevystrojeného výrubu. V ráme „exkavácia“ zadáme novú exkaváciu a namodelujeme výrub kaloty. V inžinierskej praxi sa členenie čelby, čiže v tomto prípade jednotlivé exkavácie výrubu, prevádzajú podľa percentuálneho pomeru deaktivácie zeminy ku ostávajúcejmu pôsobeniu zeminy. Pre tento prípad je to nasledovné:

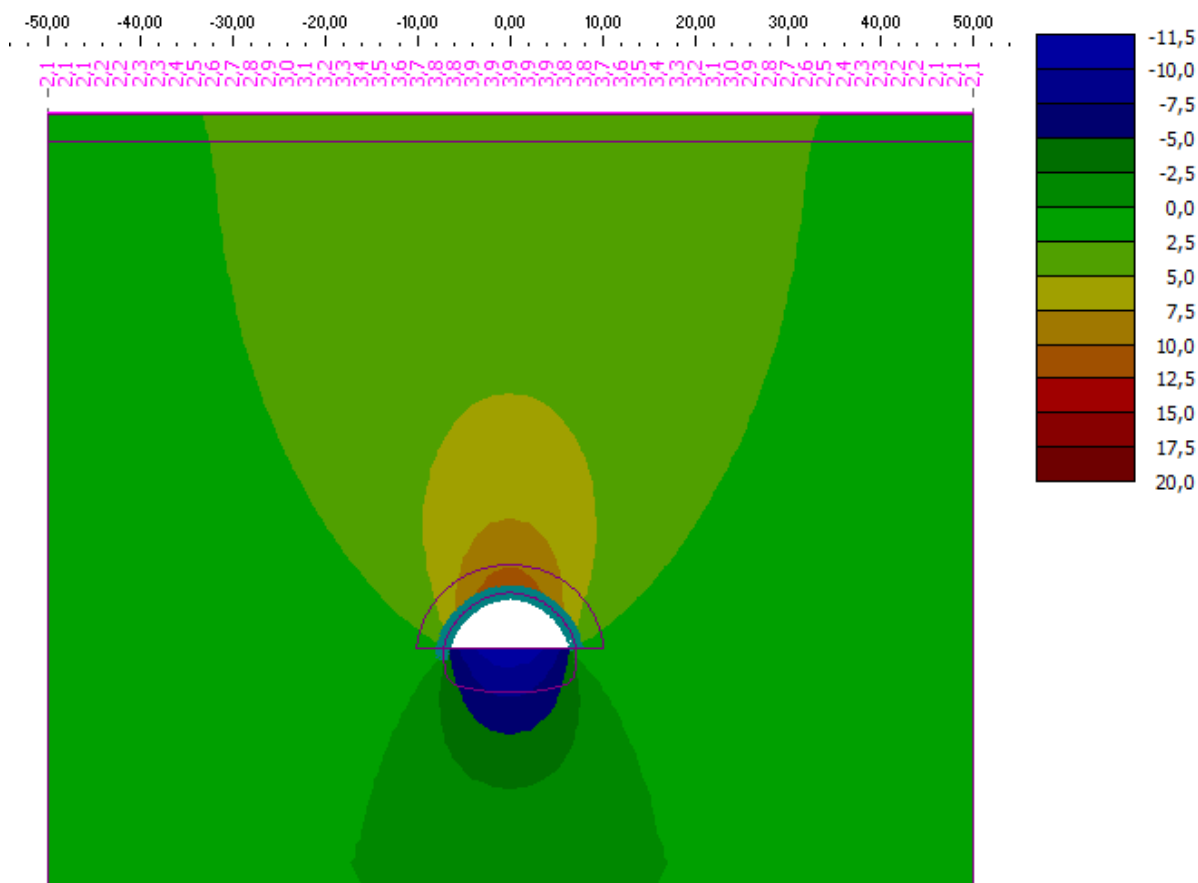
- **Fáza 2:** Výrub kaloty, aktivácia nevystrojeného výrubu 40 % / 60 %
- **Fáza 3:** Vystuženie klenby kaloty primárnym ostením z mladého betónu 30 % / 30 %
- **Fáza 4:** Zvýšenie materiálových charakteristík vyzretého betónu kaloty 30 % / 0 %
- **Fáza 5:** Modelovanie výrubu spodnej klenby, nevystrojený výrub 40 % / 60 %
- **Fáza 6:** Vystuženie stien spodnej klenby primárnym ostením z mladého betónu 30%/30%
- **Fáza 7:** Zvýšenie materiálových charakteristík vyzretého betónu 30% / 0%

Vo fáze dva sa jedná o aktiváciu percentuálneho podielu zaťaženia na nevystrojený výrub kaloty. V tejto fáze budovania teda uvažujeme deaktiváciu zeminy o veľkosti 40%. Prevedieme výpočet a uvidíme deformácie, poklesovú kotlinu a hlavne výsledky pre zvislú deformáciu d_z [mm].



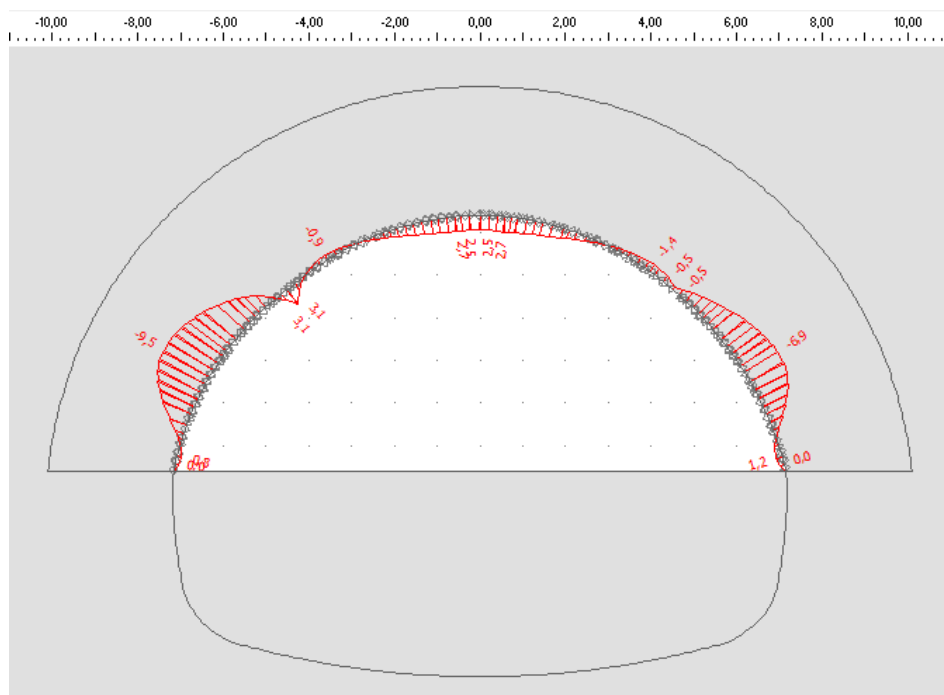
Obrázok 16: zvislá deformácia d_z s poklesovou kotlinou, fáza 2 [8]

Vo fáze tri dochádza k vystuženiu klenby kaloty primárnym ostením z mladého betónu. Do výrubu kaloty pridáme nosníky a to tak, že bolo namodelované vystuženie klenby ostením hrúbky 200 mm a použité parametre pre mladý striekaný betón. Pri uložení koncov nosníkov bolo namodelované kĺbové uloženie. V priradení horniny bolo nastavené priradenie prekotvenej horniny do oblasti nad kalotou, táto zmena horniny symbolizuje prekotvenie pomocou hydraulických upínacích oceľových svorníkov. Ďalej bola prevedená aktivácia svorníkov v prekotvenej oblasti horninového masívu v okolí výrubu kaloty a upravené vlastnosti exkavácie na ďalších 30% zaťaženia.



Obrázok 17: zvislá deformácia d_z s poklesovou kotlinou, fáza 3 [8]

Vo fáze štyri prichádza ku zvýšeniu materiálových charakteristík už vyzretého betónu, ktorý zaist'uje výrub kaloty. V dialógovom okne „Úprava vlastností nosníku“ bolo zvolené zosilnenie príslušnej hodnoty modulu pružnosti. Bola urobená aktivácia ostávajúcich 30% zaťaženia horninového masívu a následné vypočítanie a prehľad ohybových momentov na kalote.



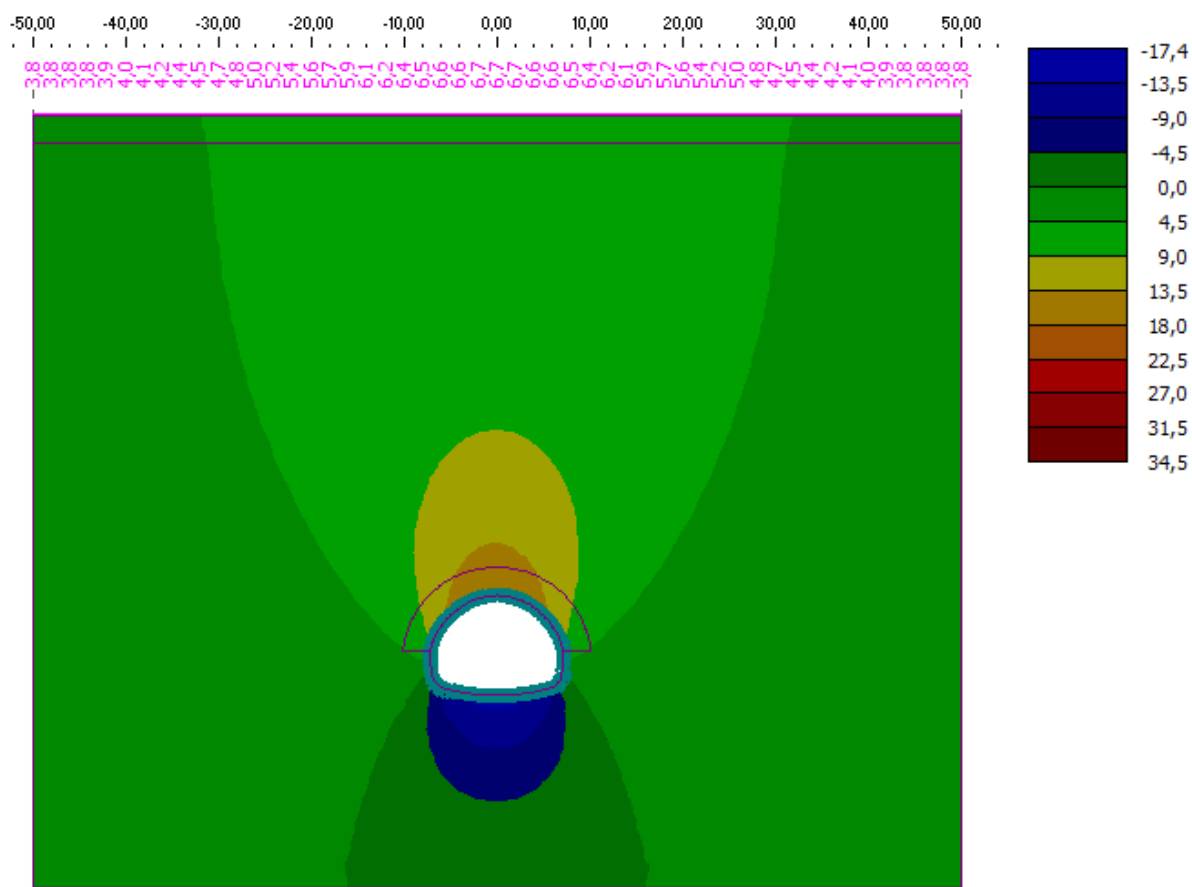
Obrázok 18: Priebek ohybového momentu M [kNm/m], fáza 4 [8]

Fáza päť zahŕňa modelovanie výrubu protiklenby, aktiváciu nevystrojeného výrubu ako novú exkaváciu. V tejto fáze budovania uvažujeme deaktiváciu zeminy, čiže pôsobenie zaťaženia o veľkosti 40%. Pre nasledujúce tri fázy je postup obdobný.



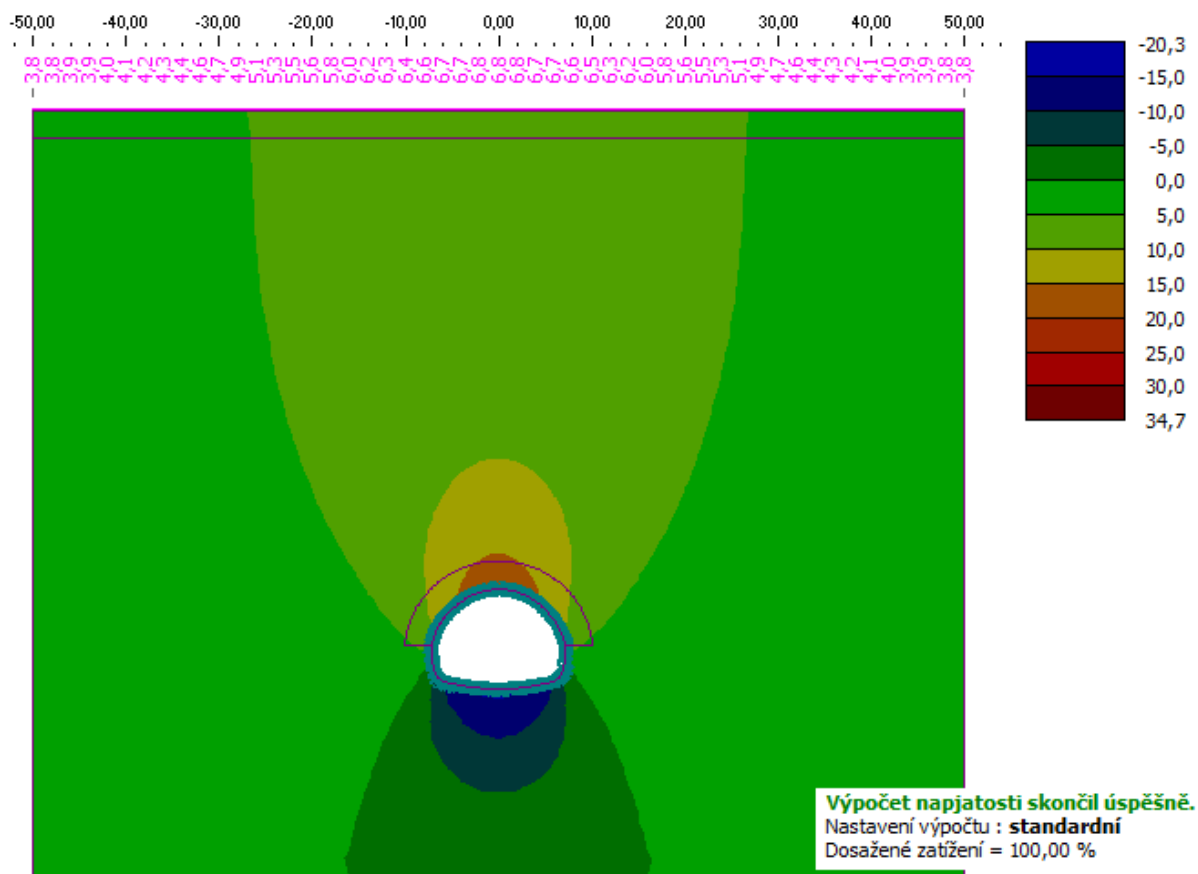
Obrázok 19: Zvislá deformácia d_z s poklesovou kotlinou, fáza 5 [8]

Fáza šesť je obdobná ako pri fáze tri, jedná sa o vystuženie stien primárnym ostením z mladého striekaného betónu.

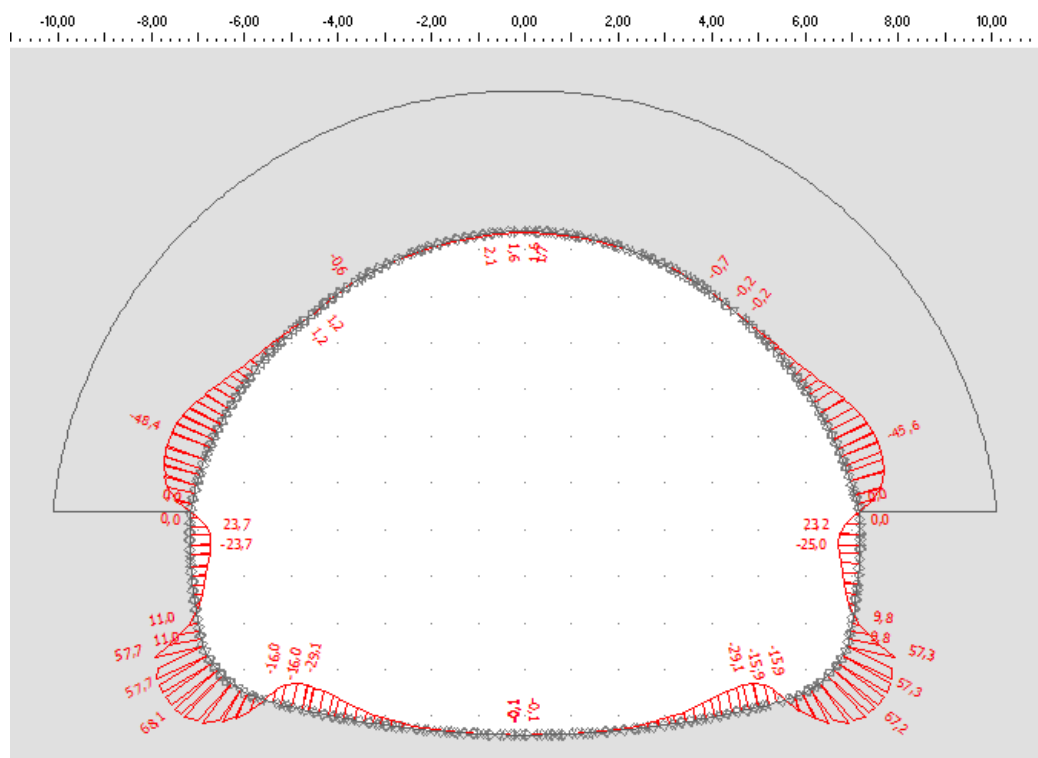


Obrázok 20: zvislá deformácia d_z s poklesovou kotlinou, fáza 6 [8]

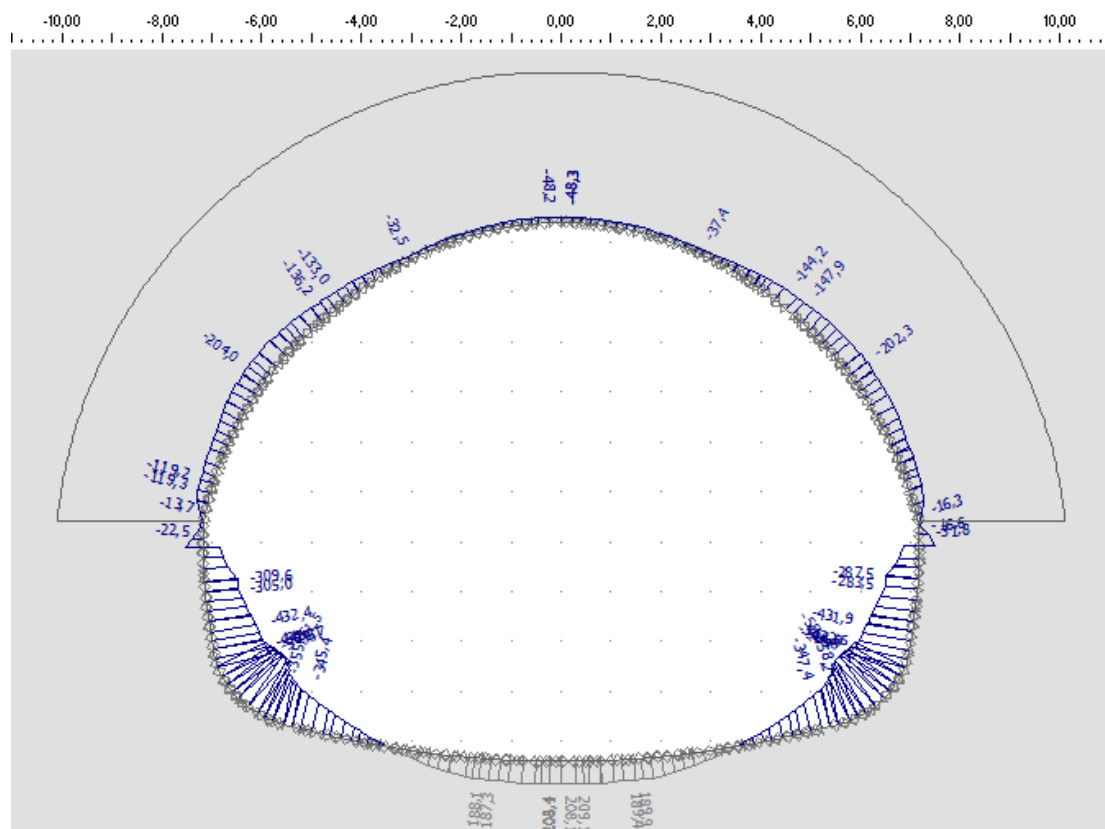
Fáza budovania sedem predstavuje zvýšenie materiálových charakteristík vyzretého betónu protiklenby. Postup zadania pre zosilnenie nosníkov je obdobný ako v štvrtej fáze budovania. Bolo prevedená aktivácia ostávajúcich 30% zaťaženia horninového masívu. Tento krok odoberá všetku zeminu z priestoru výrubu a zaťaženie na primárne ostenie tunelu teda pôsobí na sto percent. Následne prevedenie výpočtu poslednej fáze budovania.



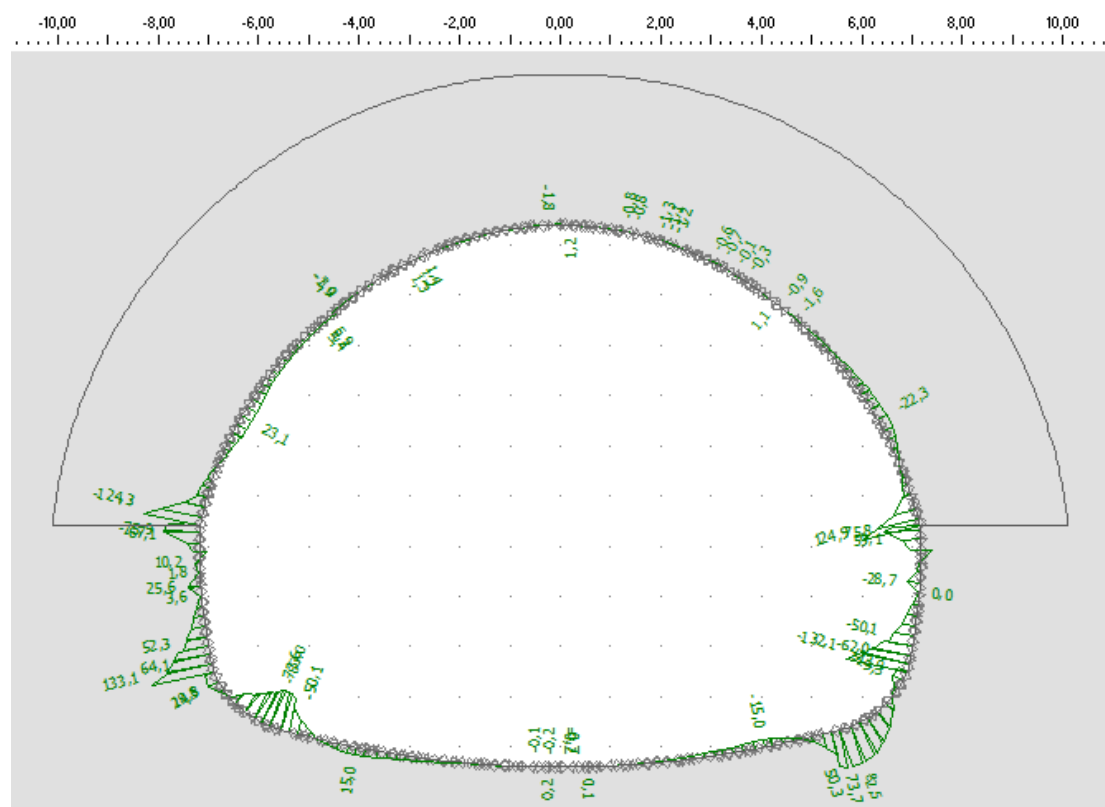
Obrázok 21: zvislá deformácia d_z s poklesovou kotlinou, fáza 7 [8]



Obrázok 22: Priebeh ohybového momentu M [kNm/m], fáza 7 [8]



Obrázok 23: Priebehy normálových tlakových síl N [kN/m], fáza 7 [8]



Obrázok 24: Priebehy posuvajúcich síl Q [kN/m], fáza 7 [8]

6.4.4. Vyhodnotenie výsledkov

V nasledujúcej tabuľke sú zobrazené hodnoty extrémov vnútorných síl na nosníkoch - primárne ostení tunelu pre siedmu fázu budovania. Ide o hodnoty ohybových momentov, posúvajúcich a normálových síl. Tento výpočet sme bol prevedený pre plasticky materiálový model Mohr – Coulomb s lokálnym zahustením trojuholníkových prvkov.

Materiálový model	Fáza budovania 7 - Vnútorné sily		
	$N \text{ [kN/m]}$	$M \text{ [kNm/m]}$	$Q \text{ [kN/m]}$
Mohr – Coulomb	-561,5	-48,4	-132,1
	+209,1	+68,1	+133,1

Tabuľka 3: Extrémne hodnoty síl na primárnom ostení tunelu – fáza 7 [2]

V nasledujúcej tabuľke sú zaznamenané celkové hodnoty zvislých a vodorovných deformácií d_z a d_x [mm] primárneho ostenia tunelu pre jednotlivé fázy budovania

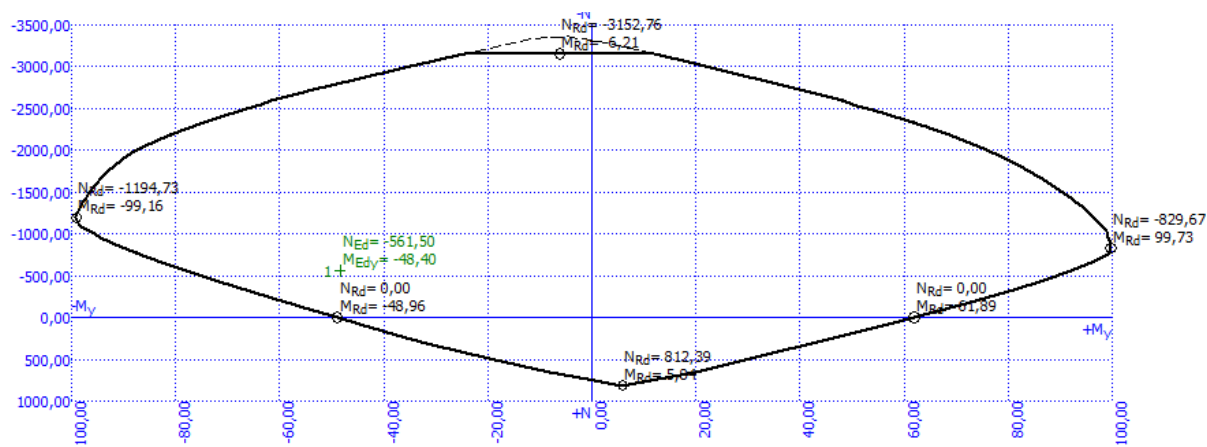
Fáza budovania	Hodnoty celkových deformácií d_z, d_x [mm]			
	$d_{z,min}$	$d_{z,max}$	$d_{x,min}$	$d_{x,max}$
1	–	–	–	–
2	-6,4	+6,7	-1,8	+1,7
3	-11,5	+20,0	-3,3	+3,3
4	-18,0	+33,6	-4,4	+4,2
5	-14,5	+33,9	-1,9	+1,9
6	-17,4	+34,5	-3,8	+3,5
7	-20,3	+34,7	-7,2	+6,4

Tabuľka 4: Hodnoty deformácií d_z, d_x (extrémy) na primárnom ostení tunela [2]

V tomto programe boli namodelované primárne ostenie tunelu pomocou metódy konečných prvkov. Ražba tunelu bola prevedená pomocou novej rakúskej tunelovanej metódy a prebieha po určitých častiach. Pri odťažení zeminy dochádza k odľahčeniu masívu a deformácii horniny smerom do výrubu. Primárne ostenie je vystužené kari sieťami z oceľových prútov s priemerom 8 mm a veľkosťou oka 150 mm a oceľovými priehradovými rebrami o 3 nosných prútoch. Zavedenie kari siete do numerického modelu Metódy konečných prvkov je diskutabilné a väčšinou sa uvažuje až pri samostatnom posúdení ostenia.

6.5. Posúdenie ostenia v programe FIN EC – Betón

Na výpočtové extrémny vnútorných síl bol použitý statický program FIN EC – Betón. Tento program posúdil výstuž primárneho ostenia tunelu ako kombináciu namáhania prierezu ohybovým momentom a normálovou silou, podľa interakčného diagramu.



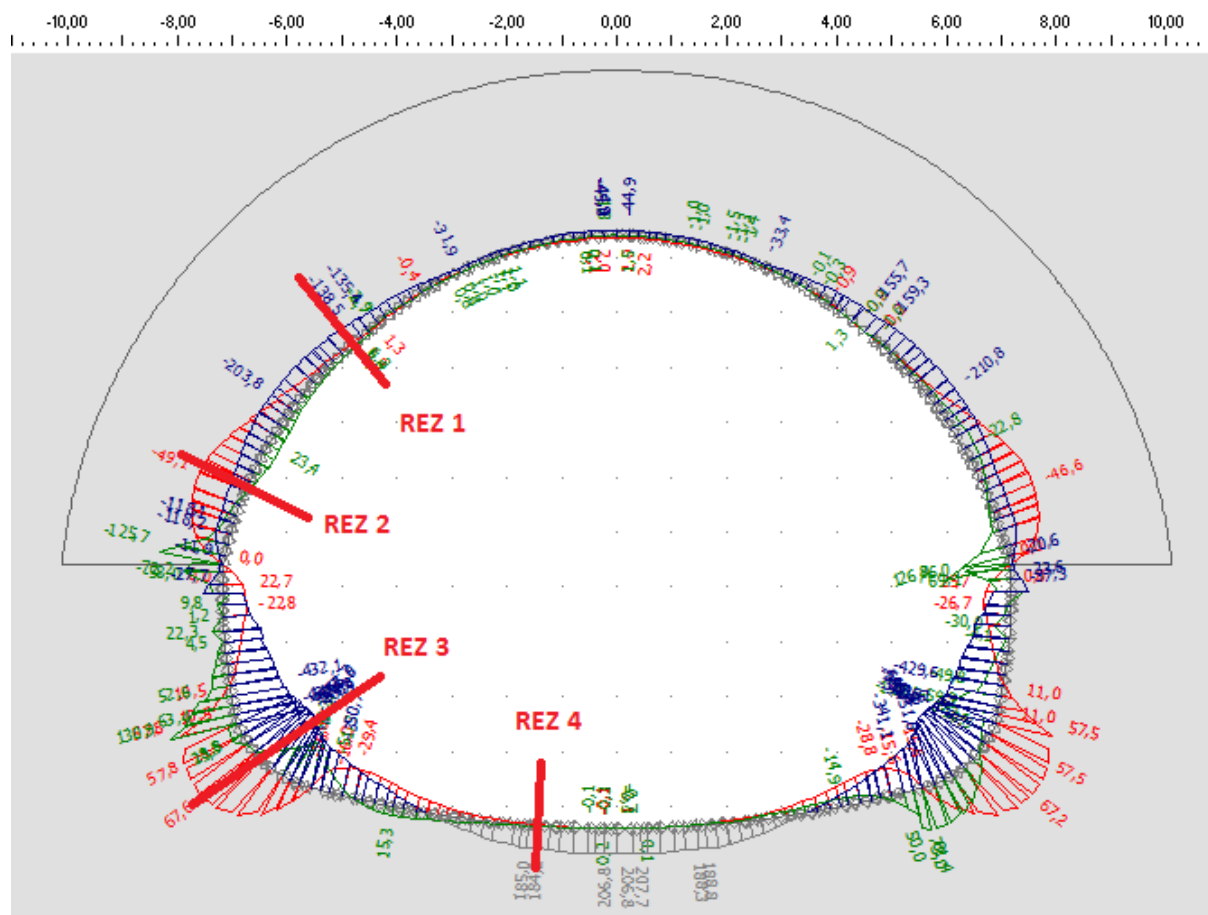
Obrázok 25: FIN EC – Betón, interakčný diagram [11]

V programe boli použité výsledky z programu GEO 5 MKP: normálová sila $N = -561,5$ kN, ohybový moment $M_y = 68,10$ kNm, šmyková sila $V_z = -85,40$ kN, Z výsledkov vyplýva, že primárne ostenie tunelu je využité pre MSÚ (medzný stav únosnosti) na 74,3% a pre MSP (medzný stav použiteľnosti) na 53,0 %

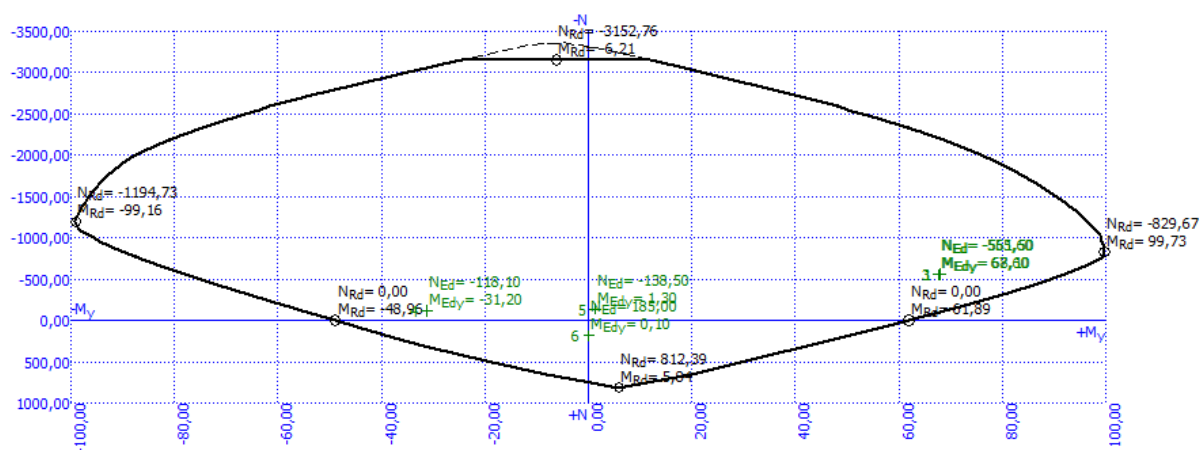
6.5.1. Posúdenie ostenia v rezoch

Pre posúdenie ostenia boli vybrané ďalšie hodnoty z jednotlivých rezov. Pre REZ 1 boli vybrané hodnoty $N = -138,5$ kN, $M_y = 1,3$ kNm, $V_z = 6,3$ kN, pre MSÚ vyhovuje tento rez na 6,1 % a pre MSP využitie na 0%. Pre REZ 2, $N = -118,2$ kN, $M_y = -31,2$ kNm, $V_z = 2,3$ kN, pre MSÚ vyhovuje využitie na 56,3% a MSP na 56,9 %. REZ 3 s hodnotami $N = -555,6$ kN,

$M_y = 67,6 \text{ kNm}$, $V_z = 5,2 \text{ kN}$, MSÚ využitie na 73,9% a MSP 52,9%. REZ 4 s hodnotami $N = 185,0 \text{ kN}$, $M_y = 0,1 \text{ kNm}$, $V_z = 0,1 \text{ kN}$, využitie MSÚ na 22,8% a MSP 30,8%.



Obrázok 26: GEO 5 – MKP, posúdenie ostena v rôznych rezoach [8]



Obrázok 27: FIN EC – Betón, posúdenie ostena v rôznych smeroch. [11]

Z posúdenia v programe FIN EC – Betón vyplýva, že posúdenia v rôznych rezoach nepresahujú výsledky z hodnôt maximálnych síl.

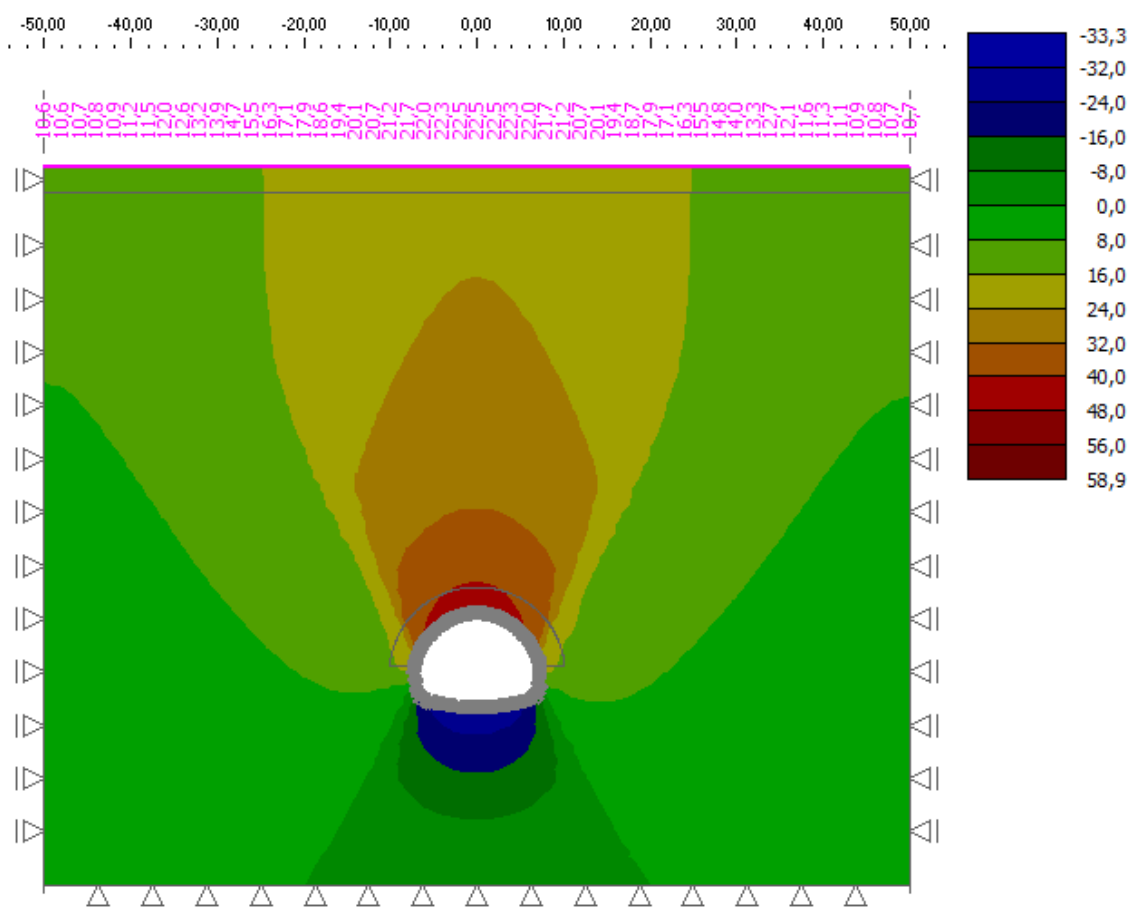
6.6. Posúdenie viacerých modelov v programe GEO 5 - MKP

V programe GEO 5 – MKP boli namodelované ďalšie dva modeli v horninách triedy R4 a R5. Parametre horniny sú zobrazené v tabuľke číslo 5.

Model číslo	Názov horniny	Objem. Tiaž	Mod. Pružn.	Poisson č.	Uhol. V. Tren.	Sudržnosť
		γ [kN/m ³]	E [MPa]	ν	ϕ [°]	c [kPa]
1	R3, ílovce lamin až doskovit	26	1050	0,25	38	250
	R3, svorníková hornina	26	1204	0,25	38	499
2	R4, slabo spevnené ílovce	24	600	0,25	28	90
	R4, svorníková hornina	24	754	0,25	28	339
3	R5, veľmi slabo spev. ílovce	23	350	0,20	24	70
	R5, svorníková hornina	23	505	0,20	24	319

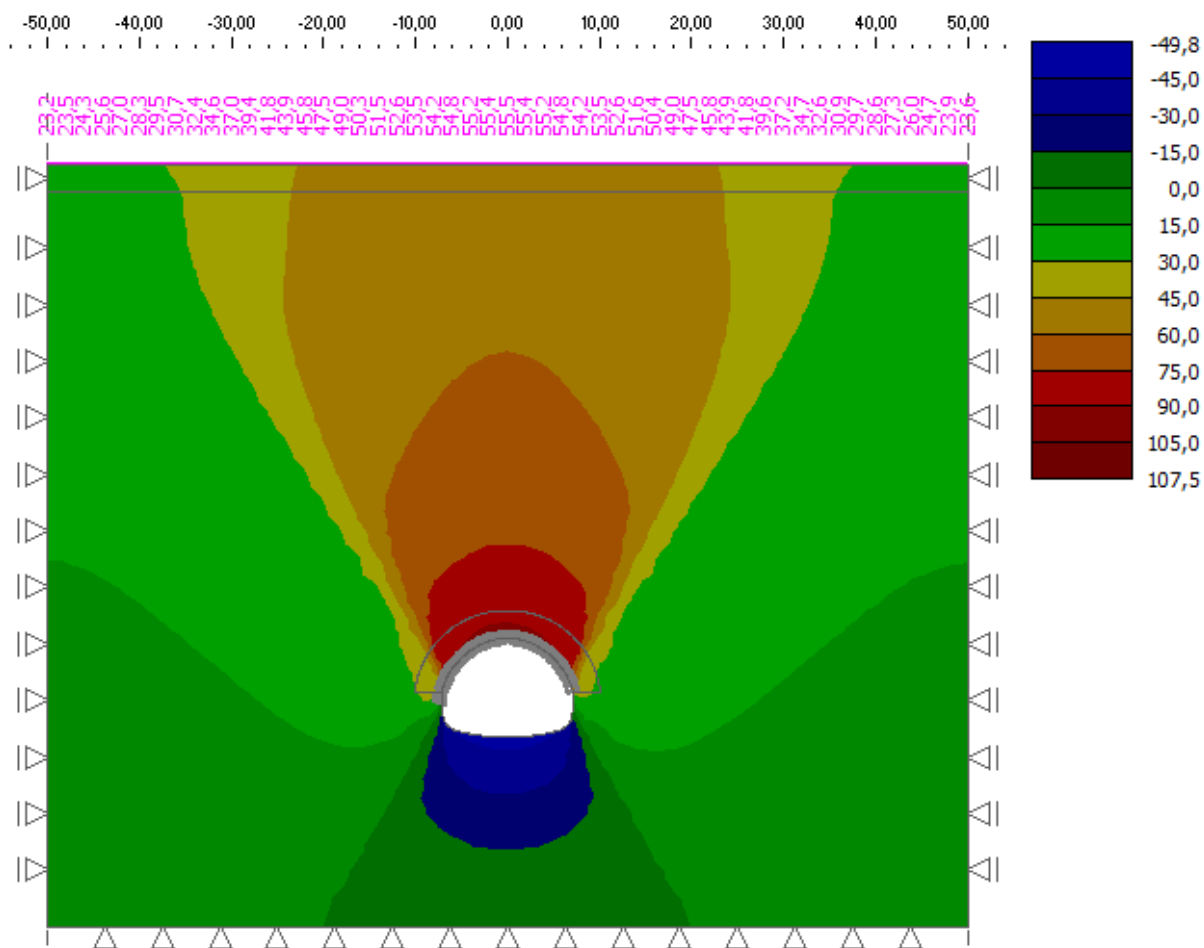
Tabuľka 5: Parametre hornín a parametre vystuženej horniny svorníkmi [2]

Vyhodnotenie modelu číslo 2, kde bola upravená hornina R4, slabo spevnené ílovce došlo k väčším deformáciám v okolí tunelu. Tieto deformácie sú zobrazené na výstupe z programu GEO 5 – MKP obrázok č.22



Obrázok 28: zvislá deformácia d_z s poklesovou kotlinou, fáza 7 [8]

Vyhodnotenie modelu číslo 3, kde bola upravená hornina R5, veľmi slabo spevnené ílovce došlo ku ešte väčším deformáciám v okolí tunelu, ako pri modeli 2. Tieto deformácie sú zobrazené na výstupe z programu GEO 5 – MKP obrázok č.23



Obrázok 29: zvislá deformácia d_z s poklesovou kotlinou, fáza 5 [8]

V tomto modeli došlo k tak výrazným deformáciám, že v programe GEO 5 – MKP, Výpočet napätosti nedosiahol plného zaťaženia a nedopočítal posledné dve fáze modelu.

Model číslo	Hodnoty celkových deformácií			
	dz,min	dz,max	dx,min	dx,max
1	-20.3	34.7	-7.2	6.4
2	-33.3	58.9	-13.4	12.7
3	-49.8	107.5	-17.3	17.3

Tabuľka 6: hodnoty celkových deformácií [2]

V tabuľke číslo 6. sú zobrazené hodnoty celkových deformácií. Z týchto výsledkov vyplýva, že pri horninách s horšími pevnostnými charakteristikami dochádza k väčším deformáciám primárneho ostenia v oboch smeroch, preto treba dôkladnejšie vystužiť horninu okolo výrubu.

7. Záver

Diplomová práca sa zaoberá problematikou návrhu modernizácie tunelového riešenia pri obci Svrčinovec. Dôvod modernizácie dráhy je nedostačujúca rýchlosť vlakovskej súpravy v danom úseku. Modernizácia preto posúva rýchlosť až na 160 km/h.

Prvým cieľom diplomovej práce bolo zistenie inžiniersko-geologických pomerov v okolí stavby, kde bola dôkladne preskúmaná geomorfológia, geológia a hydrogeológia záujmového územia. Ďalším cieľom bola geotechnická analýza variant vedenia trasy povrchom a tunelom, kedy boli zistené výhody a nevýhody vedenia trasy povrchom a tunelom. Po tomto kroku nasledoval návrh trasy a metódy ražby tunelu, kde bola zvolená Nová rakúska tunelovacia metóda. Ďalej tu bolo popísané primárne ostenie a vystrojovacie prvky, ktoré boli použité v tuneli pri obci Svrčinovec. Nakoniec kapitoly bol spravený návrh únikovej štôlne a dôkladne popísané bezpečnostné prvky pre únik osôb pri nehode alebo havárii.

Nasledovala kapitola 5. kde sa nachádzajú podrobne popísané vystrojovacie triedy, podľa ktorých bola prevedená ražba tunelu.

Poslednou a najdôležitejšou kapitolou bol návrh a statické riešenie tunelového ostenia pre podmienky vystrojovacích tried s najdlhšou kumulatívnou dĺžkou. Tento návrh bol urobený v programe GEO 5 – MKP. V tomto programe bolo namodelovaných sedem fázy, ktoré zobrazujú členenie čelby a prirážajú ju podľa percentuálneho pomeru deaktivácie zeminy ku ostávajúcemu pôsobeniu zeminy. Tento program vyhodnotil výsledky extrémnych momentov, ktoré boli potrebné na posúdenie primárneho ostenia. Primárne ostenie bolo ďalej nemodelované v programe FIN EC - BETÓN. Tento program posúdil výstuž primárneho ostenia tunelu ako kombináciu namáhania prierezu extrémnych síl, podľa interakčného diagramu. V programe FIN EC – BETÓN boli posúdené aj sily v jednotlivých rezoch profilu tunelu. Ku koncu tejto kapitoly boli ešte namodelované v programe GEO 5 – MKP situácie so zhoršenými parametrami zeminy v okolí výrubu. Zeminy a výsledky sú popísané v kapitole 6.6. tabuľka č.5 a č.6.

Podakovanie :

Prostredníctvom nasledujúcich riadkov by som rád poďakoval vedúcemu Diplomovej práce, pánovi doc. Ing. Karlovi Vojtasíkovi CSc., za príjemné, bezproblémové vedenie a rýchlu odozvu pri akejkoľvek situácii. Ďalej by som rád poďakoval pánovi Ing. Marekovi Bednárovi z firmy REMING a.s. za jeho rýchle a presné rady, super jednanie a veľkú zábavu.

Zoznam použitej literatúry:

- [1] - https://sk.wikipedia.org/wiki/Geomorfologick%C3%A9_%C4%8Dlenenie_Slovenska
- [2] - <https://sk.wikipedia.org/wiki/Svr%C4%8Dinovec>
- [3] - Záverečná správa ŽSR Modernizácia železničnej trate Krásno nad Kysucou
- [4] - <http://www.sci.muni.cz/~herber/slide.htm>
- [5] - *STN 73 7501: Navrhovanie konštrukcií razených podzemných objektov*. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 1993.
- [6] - <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/nova-rakuska-tunelovacia-metoda/>
- [7] - *STN EN 1537: Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Injektované*. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2013.
- [8] - <http://www.minova.cz/index.php?page=materialy/stavebnictvi/materialy-pro-kotveni.phtml>
- [9] - *STN EN 13670: Zhotovovanie betónových konštrukcií*. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2013.
- [10] - *STN 737508: Projektovanie železničných tunelov*. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2013.
- [11] – Klepsatel, F. Výstavba tunelov v skalných horninách. Bratislava : JAGA, 2003 ISBN 80-889-0543-5.
- [12] - *Numerické modelování tunelu metodou NRTM: GEO 5 - MKP*. 2016.

Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 1 : Vyššie geomorfologické jednotky v SR [1]	2
Obrázok 2 : Pohoria a kotliny v Žilinskom kraji [2]	3
Obrázok 3: Geológia v okolí Čadce [3]	6
Obrázok 4 : Geologická mapa Svrčinovec a okolie [3].....	10
Obrázok 5: Prehľadná situácia oblasti stavby – Svrčinovec [4].....	13
Obrázok 6: Schéma postupu ražby [5]	15
Obrázok 7: Geometria primárneho ostenia, vystrojovacia trieda II. [6]	17
Obrázok 8: injektovaný horninový svorník [7]	18
Obrázok 9: Prekotvená oblasť [8]	19
Obrázok 10: Schéma priehradového oblúkového nosníka ARCUS VIII. [6]	20
Obrázok 11: Úniková štôľňa tunelu Svrčinovec [9]	21
Obrázok 12: Dispozičné riešenie únikovej štôľne [10]	23
Obrázok 13: Výsledný tvar modelovaného ostenia [8].....	32
Obrázok 14: Primárna geostatická napätosť [8].....	33
Obrázok 15: zvislá deformácia dz s poklesovou kotlinou, fáza 2 [8].....	34
Obrázok 16: zvislá deformácia dz s poklesovou kotlinou, fáza 3 [8].....	35
Obrázok 17: Priebeh ohybového momentu M [kNm/m], fáza 4 [8]	36
Obrázok 18: Zvislá deformácia dz s poklesovou kotlinou, fáza 5 [8]	36
Obrázok 19: zvislá deformácia dz s poklesovou kotlinou, fáza 6 [8].....	37
Obrázok 20: zvislá deformácia dz s poklesovou kotlinou, fáza 7 [8].....	38
Obrázok 21: Priebeh ohybového momentu M [kNm/m], fáza 7 [8]	38
Obrázok 22: Priebehy normálových tlakových síl N [kN/m], fáza 7 [8]	39
Obrázok 23: Priebehy posuvajúcich síl Q [kN/m], fáza 7 [8].....	39
Obrázok 24: FIN EC – Betón, interakčný diagram [11]	41
Obrázok 25: GEO 5 – MKP, posúdenie ostenia v rôznych rezoch [8]	42

Obrázok 26: FIN EC – Betón, posúdenie ostenia v rôznych smeroch. [11]	42
Obrázok 27: zvislá deformácia <i>dz</i> s poklesovou kotlinou, fáza 7 [8].....	43
Obrázok 28: zvislá deformácia <i>dz</i> s poklesovou kotlinou, fáza 5 [8].....	44

Literatúra obrázkov

- [1] - https://www.geology.sk/new/sites/default/files/media/geois/PrehľadneMapy/GM_mapa.pdf
- [2] - <https://sk.wikipedia.org/wiki/Rosinka>
- [3] - <http://apl.geology.sk/gm50js/>
- [4] - <https://www.google.com/intl/sk/earth/>
- [5] - <http://podzemi.solvayovylomy.cz/podzemi/mrazovka/mrazovka.htm>
- [6] - Prílohy Diplomovej práce
- [7] - Kotvenie stavebných konštrukcií
- [8] - Program GEO 5 – MKP
- [9] - Situácia stavby obec Svrčinovec
- [10] - *STN 737508: Projektovanie železničných tunelov*. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2013.
- [11] - Program FINE EC – BETÓN

Zoznam použitých tabuliek:

[1] - <http://apl.geology.sk/gm50js/>

[2] - Program GEO 5 – MKP

Zoznam noriem:

STN 737508 - Projektovanie železničných tunelov

STN EN 1997-1: 2005 Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií

STN EN 1992-2: 2007 Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií.

STN 73 7501 - Navrhovanie konštrukcií razených podzemných objektov.